

**DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO DE ASIGNACIÓN
DE RECURSOS PÚBLICOS PARA LA FORMACIÓN DE
CAPITAL HUMANO DEMANDADO POR SECTORES
ESTRATÉGICOS EN CRECIMIENTO**

Claudia Marcela García Pertuz

**Universidad del Norte
Departamento de Ingeniería Industrial
Barranquilla, Colombia
2016**

DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS PÚBLICOS PARA LA FORMACIÓN DE CAPITAL HUMANO DEMANDADO POR SECTORES ESTRATÉGICOS EN CRECIMIENTO

Claudia Marcela García Pertuz

**Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial**

Área de énfasis: Gestión de operaciones

Director:

Alcides R. Santander Mercado Ph.D.

**Universidad del Norte
Departamento de Ingeniería Industrial
Barranquilla, Colombia**

2016

Aprobado por la División de Ingenierías
en cumplimiento de los requisitos
exigidos para otorgar el título de
Magister en Ingeniería Industrial

Ing. Alcides Santander M., Ph.D.

Director del proyecto

Ing. René Amaya N., Ph.D.

Jurado

Ing. Rubén Yie P., Ph.D.

Jurado

Barranquilla, Noviembre 2016

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1.1. Antecedentes	10
1.1.2. Formulación del problema	12
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.2.1. Justificación teórica	13
1.2.2. Justificación práctica.....	14
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	17
2. ESTADO DEL ARTE	19
2.1. MÉTODOS DE PRESUPUESTO DE CAPITAL	19
2.2. MODELOS MATEMÁTICOS DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS.....	20
2.2.1. Clasificación taxonómica	22
2.2.2. Análisis de resultados	22
3. FORMULACIÓN DEL MODELO DINÁMICO	27
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	27
3.2. SELECCIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO.....	29
3.2.1. Revisión literaria sobre la medición del capital humano como inversión.....	30
3.2.2. Objetivo del modelo propuesto.....	32
3.3. FORMULACIÓN MATEMÁTICA	34
3.3.1. Supuestos de la investigación.....	34
3.3.2. Parámetros y variables	35
3.3.3. Función objetivo	37
3.3.4. Restricciones	38
4. SOLUCIÓN DEL MODELO DINÁMICO: TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN DINÁMICA .	40
4.1. COMPONENTES DEL MODELO.....	40
4.1.1. Algoritmo genético	43
4.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SOLUCIÓN	50

4.2.1. Esquema matricial	50
4.2.2. Método de inducción hacia atrás.....	54
4.3. RESULTADOS DE LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA BAJO INCERTIDUMBRE.....	57
5. CASO DE ESTUDIO	60
5.1. PROCEDIMIENTO ACTUAL UTILIZADO POR EL GOBIERNO.....	60
5.1.1. Convocatoria formación para el departamento del Magdalena 2014	61
5.2. APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE INVERSIÓN	63
5.2.1. Inversiones en el sector logístico en el departamento del Magdalena.....	64
5.2.2. Identificación de la demanda: metodología de buenas prácticas.....	66
5.2.3. Método de optimización	77
5.2.4. Limitaciones del estudio.....	96
6. CONCLUSIÓN	97

Lista de tablas

Tabla 4-1. Cantidades a evaluar.....	45
Tabla 4-2. Demandas en el estado i del período t	44
Tabla 4-3. Ejemplo: rangos disponibles para asignar.....	46
Tabla 5-1. Áreas estratégicas para fortalecer con la convocatoria del Magdalena 2014.....	61
Tabla 5-2. Criterios de evaluación de la convocatoria del Magdalena 2014.....	62
Tabla 5-3. Proporción indicativa de cupos de la convocatoria del Magdalena 2014.....	62
Tabla 5-4. Cantidad financiada por la convocatoria del Magdalena 2014.....	63
Tabla 5-5. Pilares, objetivos, sectores y principales programas según fuente de financiación.....	65
Tabla 5-6. Principales proyectos de inversión en vías en el Magdalena.....	65
Tabla 5-11. Estructura organizacional resultante para el proyecto de remodelación del Aeropuerto de Santa Marta.....	113
Tabla 5-12. Estructura organizacional resultante para el proyecto modernización del Puerto de Santa Marta.....	116
Tabla 5-13. Estructura organizacional resultante para el proyecto de doble calzada Y de Ciénaga - Barranquilla.....	119
Tabla 5-14. Estructura organizacional resultante para la concesión fluvial en el Río Magdalena.....	121
Tabla 5-15. Perfiles a formar – Proyecto remodelación Aeropuerto Simón Bolívar.....	74
Tabla 5-16. Perfiles a formar – Proyecto concesión fluvial en el Río Magdalena.....	74
Tabla 5-17. Perfiles a formar – Proyecto modernización Puerto de Santa Marta.....	75
Tabla 5-18. Perfiles a formar – Proyecto doble calzada Y de Ciénaga – Barranquilla.....	75
Tabla 5-19. Rúbrica para cuantificar demanda por perfil profesional.....	76
Tabla 5-20. Estimación de la inflación 2016-2019.....	78
Tabla 5-21. Probabilidades de abandono asumidas para todos los perfiles según la holgura de factibilidad.....	79
Tabla 5-22. Perfiles profesionales: ingresos mensuales y costo semestral en el año 2016.....	80
Tabla 5-23. Niveles de los factores de diseño.....	82
Tabla 5-24. Resultados del diseño factorial 24 – prueba período 1.....	84
Tabla 5-25. Test de Barlett. Residuos vs Factor tamaño.....	85
Tabla 5-26. Test de Barlett. Residuos vs Factor generaciones.....	85
Tabla 5-27. Test de Barlett. Residuos vs Factor cruces.....	85
Tabla 5-28. Test de Barlett. Residuos vs Factor tasa mutación.....	85
Tabla 5-29. Análisis de varianza – período 1.....	85
Tabla 5-30. Resultados del diseño factorial 24 – prueba período 5.....	87
Tabla 5-31. Análisis de varianza - período 5.....	88
Tabla 5-32. Resultados del diseño factorial 24 – prueba período 9.....	90
Tabla 5-33. Análisis de varianza – período 9.....	91
Tabla 5-34. Presupuesto invertido – 35 corridas iniciales.....	128
Tabla 5-35. Cálculo del número de réplicas.....	92
Tabla 5-36. Índice de calidad – 100 corridas.....	93
Tabla 5-37. Cuartiles y rango intercuartil de los perfiles del período 1.....	93
Tabla 5-38. Cuartiles y rango intercuartil de los perfiles del período 5.....	94

Tabla 5-39. Cuartiles y rango intercuartil de los perfiles del período 9.....	94
Tabla 5-40. Intervalo de confianza para un $\alpha = 0.05$ en el período 1	95
Tabla 5-41. Intervalo de confianza para un $\alpha = 0.05$ en el período 5	95
Tabla 5-42. Intervalo de confianza para un $\alpha = 0.05$ en el período 9	95
Tabla 5-43. Política de decisión: cantidad sugerida de cada perfil por período.....	95
Tabla A1-1. Modelos único período – Único objetivo	104
Tabla A1-2. Modelos único período – Múltiple objetivos	105
Tabla A1-3. Modelos múltiples períodos – Único objetivo.....	106
Tabla A1-4. Modelos múltiples períodos – Múltiples objetivos	107
Tabla 5-7A. Caracterización referentes del Proyecto remodelación del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar.....	108
Tabla 5-8. Caracterización referentes del Proyecto construcción de una concesión fluvial	109
Tabla 5-9. Caracterización referentes del Proyecto modernización Puerto de Santa Marta	110
Tabla 5-10. Caracterización de los referentes del Proyecto doble calzada Y de Ciénaga - Barranquilla.....	111

Lista de figuras

Figura 2-1. Esquema de clasificación basado en horizonte de tiempo, objetivos y método de solución	21
Figura 2-2. Proporción de tipo de recurso de los modelos de asignación	23
Figura 2-3. Proporción métodos de solución de modelos de múltiples períodos	24
Figura 2-4. Proporción métodos de solución de modelos de único período.....	24
Figura 2-5. Proporción campos de aplicación de los modelos de asignación.....	25
Figura 3-1. Escenario de inversión.....	28
Figura 3-2. Escenario de inversión. Holgura de factibilidad	28
Figura 4-1. Estrategia de Importancia relativa	41
Figura 4-2. Gradiente de importancia decreciente	42
Figura 4-3. Gradiente de importancia lineal	42
Figura 4-4. Estructura del cromosoma.....	44
Figura 4-5. Ejemplo: estrategia de cruzamiento	47
Figura 4-6. Ejemplo: estrategia de mutación	48
Figura 4-7. Ejemplo: Cantidades en exploración unitaria.....	49
Figura 4-8. Ejemplo: Construcción del esquema matricial resumido (estados recorridos en cada período)	53
Figura 4-9. Ejemplo: Sub-problema2	55
Figura 4-10. Ejemplo: Sub-problema 3.....	55
Figura 4-11. Ejemplo: Sub-problema 4.....	56
Figura 4-12. Ejemplo: Sub-problema 5.....	56
Figura 4-13. Ejemplo: Sub-problema 6.....	56
Figura 5-1. Distribución de recursos del PDN en el departamento del Magdalena.....	64
Figura 5-2. Organigrama Aeropuerto José María Córdova	112
Figura 5-3. Organigrama Aeropuerto Ernesto Cortissoz	112
Figura 5-4. Organigrama Sociedad Portuaria de Buenaventura.....	114
Figura 5-5. Organigrama Puerto de Manzanillo.....	114
Figura 5-6. Organigrama Sociedad Portuaria de Cartagena	115
Figura 5-7. Organigrama Sociedad Concesionaria Autopista del Sol.....	118
Figura 5-8. Organigrama Ruta Maipo.....	118
Figura 5-9. Organigrama Puerto Fenix	120
Figura 5-10. Organigrama Terminal Puerto de Rosario	120
Figura 5-11. Horizonte de tiempo de la inversión del caso de estudio – Departamento del Magdalena.....	77
Figura 5-12. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2019	80
Figura 5-13. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2022	81
Figura 5-14. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2023	81
Figura 5-15. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2024	82
Figura 5-16. Secuencia cronológica de residuos – período 1	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5-17. Gráfico de efectos principales – Período 1	86
Figura 5-18. Gráfico de interacciones entre factores – Período 1	86
Figura 5-19. Secuencia cronológica de residuos – período 5	¡Error! Marcador no definido.

Figura 5-20. Gráfico de efectos principales – Período 5.....	88
Figura 5-21. Gráfico de interacciones – Período 5	89
Figura 5-22. Secuencia cronológica de residuos – período 9	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5-23. Gráfico de efectos principales – Período 9.....	91
Figura 5-24. Gráfico de interacciones de tasa de mutación con los demás factores – Período 9....	91

1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo expone el contexto en el cual se desarrolla el propósito de la tesis de maestría, luego presenta la justificación teórica y práctica del planteamiento de este tema como avance en el conocimiento, a continuación plantea los objetivos del estudio y finalmente describe los pasos ejecutados para el cumplimiento de la investigación.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se expone el contexto económico reciente en Colombia y el mundo que motivó la elección del tema de estudio en el área de inversión pública en educación. La sección concluye con la pregunta problema a la cual se espera contribuir con la ejecución de esta tesis de maestría.

1.1.1. Antecedentes

El 2015 fue un año de grandes contrastes para Colombia. Se inició la ejecución de los proyectos de infraestructura, el desarrollo de proyectos de inversión productiva, la continuación de la inversión extranjera. En lo negativo se debe nombrar la baja el precio del petróleo y la desaceleración de la economía mundial que afectó el papel exportador de Colombia. Sin embargo, dentro de este contexto turbulento, se puede considerar que Colombia tuvo un crecimiento satisfactorio; el año terminó con una tasa ligeramente superior al 3%, favorable en comparación con el estancamiento en América Latina y el bajo crecimiento mundial. (ANDI, 2015)

El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 definió cinco locomotoras de crecimiento: nuevos sectores basados en la innovación, sector minero-energético, sector agropecuario, vivienda e infraestructura.

La locomotora de infraestructura de transporte contribuyó al PIB en el primer trimestre de 2015 en un 7,5% (Revista Dinero, 2015). El Departamento de Planeación Nacional (DNP) estima que las inversiones en la construcción de las concesiones de cuarta generación van a

tener un impacto marginal de 1,5% del PIB en los años 2015-2019 (Ministerio de transporte, 2015).

En el desarrollo logístico, el proyecto de navegabilidad del Río Magdalena ha tenido tropiezos debido a problemas financieros del socio mayoritario Odebrecht. Sin embargo las autoridades regionales trabajan para evitar que el proyecto se suspenda de forma irreversible (El Heraldó, 2016), y continuar las obras para convertir al río como actor de un sistema integrado de transporte multimodal.

En materia aérea se destacan los proyectos de modernización de la infraestructura aeroportuaria, entre los cuales están los aeropuertos de Santa Marta, Barranquilla, y Medellín, para asegurar una mayor conectividad en el país. La inversión en vías fue una de las estrategias para el fortalecimiento de la competitividad nacional; la adjudicación de su ejecución se han realizado en su mayoría por sistemas de concesiones: autopistas de la Prosperidad, Ruta del Sol y Transversal de las Américas.

Actualmente, hay planes de exploración no convencional de petróleo. La empresa Conoco Phillips firmó un contrato con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y espera iniciar obras en cuatro años (El tiempo, 2015). La polémica técnica Fracking, prohibida en países como Alemania y Francia por temas medioambientales, surge como medida para salir de la dependencia de los yacimientos convencionales, que se pronostica hay reservas de petróleo para 7 años (Amat, 2015).

El hallazgo de gas en aguas del Caribe colombiano fortalece el mercado nacional, dado que la Asociación Colombiana de Petróleos había asegurado que las reservas del hidrocarburo alcanzarían hasta el 2018, y de ser así había que importar y los costos se duplicarían (Noticias RCN, 2015).

En cuanto al sector agropecuario, sobresale el incremento del 2,9% en la producción de 2014 en comparación con el año 2013, alcanzando un valor superior a los 27 millones de

toneladas (DNP, 2014). A final del 2015 el sector agrario tuvo un crecimiento que lo ubicó en 4,8% (El tiempo, 2016).

Si bien es cierto que hay sectores rezagados como la industria, el carbón y las edificaciones (ANDI, 2015), también hay grandes oportunidades de transformación productiva hacia un crecimiento alto y sostenido. En educación, salud e innovación se tienen grandes retos.

El Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 se concentra en tres pilares: *paz, equidad y educación*. Se busca incrementar la productividad de las empresas colombianas a partir de la sofisticación y diversificación del aparato productivo, e incentivar la ciencia, tecnología e innovación. El talento humano debe responder a las necesidades actuales y futuras del aparato productivo. Aunque en los últimos años el país ha tenido progresos considerables en infraestructura, todavía hay una importante porción obsoleta y sin mantenimiento, así que se continuará con el ambicioso programa de infraestructura de transporte de concesiones de cuarta generación (DNP, 2015).

Se prevén acciones para aumentar la calidad y cobertura de los sistemas de educación y salud. También se plantea una estrategia integral de transformación del campo que lo atienda y lo modernice, mejorando los sistemas de cartografía, catastro, títulos de propiedad y vías de acceso, y articulando las políticas agropecuarias a un programa más amplio de desarrollo rural (DNP, 2015).

1.1.2. Formulación del problema

La ejecución de proyectos de inversión en el país busca mejorar las condiciones internas para facilitar el crecimiento económico y adquirir ventajas competitivas. Se abren nuevos horizontes laborales para las regiones beneficiadas, que pueden participar de las actividades productivas, financieras y comerciales que genera el sector en crecimiento. La oportunidad de involucrarse con el desarrollo se traduce en adaptarse a las nuevas exigencias del mercado: capital humano calificado, innovación y actualización tecnológica, equipos y herramientas, infraestructura.

Las inversiones de capital público cubren un porcentaje de estas demandas regionales, para acondicionar el territorio y generar el crecimiento proyectado. Entonces, una vez se estiman las necesidades, *¿Cómo, mediante el diseño e implementación de un modelo dinámico de planeación de asignación de recursos, se formalizaría el proceso de inversión gubernamental en formación de alto nivel en las regiones para anticiparse a la demanda de personal competente en las áreas de desarrollo que traen consigo las inversiones en diferentes sectores estratégicos?*

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se argumenta la necesidad de llevar a cabo esta investigación en función de contribuir al desarrollo de un país. Se expone la ausencia de métodos científicos para abordar el problema, y se describe la importancia de planificar la inversión en educación en relación a las futuras exigencias del desarrollo local.

1.2.1. Justificación teórica

En la literatura, los estudios de presupuesto de capital basados en técnicas financieras tradicionales están orientados a contextos organizacionales y gubernamentales. Los métodos y métricas tradicionales, como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Razón Beneficio-Costo (RBC), el Período de Retorno (PER), entre otros, podrían ser efectivos y prácticos en aquellos casos en los que la decisión de inversión requiere inmediatez (Dixit & Pindyck, 1994).

Si existe un alto nivel de incertidumbre, las opciones reales ofrecen un enfoque alternativo a las herramientas de evaluación tradicionales de los proyectos de inversión (Insley, 2002). Como resultado de la implementación de opciones reales, se puede sugerir aplazar el proyecto, abandonarlo, ampliar o reducir el alcance. Los métodos tradicionales sólo suponen que el proyecto se ejecuta de inmediato. Por lo tanto, en muchos casos, una decisión que parecía inviable podría no serlo en el futuro bajo consideraciones específicas (Arango, 2015).

Sin embargo, estos métodos son apropiados cuando el problema de inversión tiene opciones conocidas con elementos de incertidumbre. En educación hay un problema combinatorio asociado con la inversión, debido a la cantidad de dinero a invertir para proporcionar programas de becas condonables en diferentes momentos, para diferentes perfiles.

La inversión en educación requiere diseñar una estrategia que priorice la asignación de recursos basada en objetivos. Este problema es susceptible a la implementación de técnicas de optimización. Los métodos de presupuesto de capital podrían complementar el cálculo de parámetros y funciones objetivos dentro del problema de asignación de recursos.

Como dijo el autor Brill, “diseñar una solución a un problema del sector público es en gran parte un arte”. El presupuesto público es el instrumento principal de manejo del Estado a través del cual se define e instrumenta anualmente las distintas políticas públicas que determinarán la intervención del Estado en la sociedad (Pérez, 2009).

Por esto, se sugiere una propuesta de investigación que permita evaluar las decisiones de inversión y distribuir los recursos para generar el mayor beneficio posible, teniendo en cuenta cifras estimadas sobre el grado de incertidumbre que supone.

1.2.2. Justificación práctica

El desarrollo económico de un país es un proceso que involucra la participación de actores como son el gobierno, las empresas, instituciones, municipios y pueblos, y todas las regiones que por pequeñas o grandes, participan en la economía a nivel micro o macroeconómico.

El Gobierno realiza inversiones en diferentes sectores de la economía para mejorar las condiciones internas y estimular el crecimiento económico. Sin embargo, estas inversiones no necesariamente llevan al desarrollo local. Esto conlleva a pensar, ¿qué más necesitan las regiones para alcanzar un alto desarrollo económico?

Los proyectos en actual ejecución se pueden comparar con casos similares a nivel internacional como ejemplos del impacto y progreso alcanzados. Este es el caso del Plan de Recuperación de la Navegabilidad del Río Magdalena, que podría ser comparado con la Hidrovía del Paraná.

Esta hidrovía da una visión del futuro esperado en Colombia, con las inversiones en un esquema de transporte intermodal que mejore la competitividad en los procesos de comercio exterior y flujo de productos al interior del país. El mejoramiento del canal navegable permitirá a los productores transportar bienes a precios más bajos (Patrick, Jerry, & Brian, 1997) en vez de usar carreteras.

En el departamento del Magdalena el río podría convertirse en pieza clave para el desarrollo de las regiones aledañas. Su economía está centrada en las actividades agropecuarias, ganaderas, turísticas y portuarias (Gobernación del Magdalena, 2012). Por ello, el departamento debería prepararse para un clúster agroindustrial que utilice el recurso fluvial como un medio de transporte. Sin embargo, la operación, gestión y mantenimiento de la infraestructura portuaria requiere un personal entrenado para todas las actividades relacionadas tales como control de tráfico, servicios portuarios, seguridad del canal navegable para garantizar un buen funcionamiento.

Con este ejemplo, se puede observar que el desarrollo local exige requisitos previos, entre los cuales se destaca el “acondicionamiento” del territorio. Es necesario dotar la región de los componentes necesarios, tangibles e intangibles, a fin de crear un ambiente socioeconómico e institucional favorable a las actitudes innovadoras y actividades productivas a escala local (Alburquerque, 1997).

La estrategia de desarrollo explora las diferencias territoriales, por lo que se da precisamente en respuesta a una situación de necesidades internas concretas y se fundamenta en el aprovechamiento de oportunidades locales detectadas (Medina & Aranzazu, 2013).

Ahora bien, dentro de estos requisitos para el acondicionamiento de la región, se resalta el factor humano, motor del progreso de una región. La capacidad de un sistema económico de reformarse y ser competitivo está estrechamente relacionada a la acumulación y a la disponibilidad de capital humano altamente calificado y potencialmente muy innovador (Asociación Voluntaria del Servicio Internacional, 2008).

Los planes de inversión y desarrollo traen consigo la necesidad de formar capital humano en temas afines al sector en crecimiento para satisfacer los perfiles demandados por el mercado laboral a futuro. Además, se le da oportunidad laboral a la personas de la región y no es necesario traer personas capacitadas de otros lugares que, después de terminar los proyectos en que participan, se irán con la experiencia ganada y se perderán las ganancias tributarias e inversión comercial que supone el dinero obtenido de estos trabajos. El conocimiento es indispensable para que los habitantes de la región se apropien de su economía y saquen el mayor provecho para beneficio propio.

La asignación de recursos públicos en I+D y en ACTI se ha promocionado a través de proyectos de ciencia, tecnología e innovación. Sin embargo, la asignación de recursos para este tipo de proyectos se aplica en diferentes áreas a la vez sin mirar la continuidad futura de la inversión actual, de modo que no logra un impacto en términos de transformación productiva para una región o sector (DNP, 2011).

En las regiones, los ejes de desarrollo se validan por los principales autoridades, representantes y organizaciones sociales, a través de instancias como los Órganos Colegiados de Administración y Decisión (OCAD), encargados de priorizar y aprobar los proyectos que serán financiados con recursos de regalías (DNP, 2015). Las áreas estratégicas de formación se identifican según los lineamientos de los Planes de Desarrollo Nacional y regional.

Tener en cuenta el resultado de los proyectos de inversión va enfocar la inversión al escenario resultante esperado de las decisiones presentes. Con base a esta información se

tiene un estimativo potencial del impacto que permita evaluar y priorizar más conscientemente la inversión en educación.

1.3. OBJETIVOS

En esta sección se presenta el objetivo general de la investigación. Para su cumplimiento se concretan los objetivos específicos resumidos en cinco puntos.

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un modelo dinámico de planeación para la asignación de recursos, para garantizar que se cubran las futuras necesidades de capital humano en sectores estratégicos del desarrollo regional y maximizar el impacto de la inversión pública.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los procesos de asignación de recursos para definir y acotar alternativas de modelación.
- Identificar funciones de costos y beneficios para la asignación de recursos en el tiempo.
- Diseñar un modelo dinámico de planeación que entregue la política de inversión por período de tiempo.
- Seleccionar y aplicar la estrategia de solución del modelo dinámico de programación.
- Desarrollar un caso de estudio asociado a la demanda de Capital Humano necesaria para crear condiciones de éxito de los proyectos de crecimiento en un área económica del departamento del Magdalena, con la información recogida de las inversiones públicas en la región y el uso de las Buenas Prácticas

1.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología para el desarrollo de la investigación comprende las siguientes etapas:

Etapas 1: Comprensión del modelo. La primera etapa consiste en la explicación detallada del problema de asignación de recursos que se busca modelar en la investigación. Se

definen las condiciones del proceso de inversión en formación profesional, el objetivo de la estrategia de inversión y las suposiciones del problema abordado. Esto con el fin de acotar el alcance del proyecto y definir la aplicación de la herramienta.

Etapas 2: Estructura del modelo. Esta segunda etapa consiste en la previa selección y cuantificación de los componentes y relaciones presentes en el sistema. Se plantea la función objetivo, las restricciones, parámetros y variables relevantes al problema de inversión; es decir, el planteamiento de las ecuaciones que fundamentan el modelo matemático.

Etapas 3: Solución del modelo dinámico. En esta etapa se elige el método de solución del modelo dinámico, y se diseña el algoritmo del proceso de asignación de recursos en una herramienta computacional de acuerdo al alcance y componentes definidos en las etapas anteriores.

Etapas 4: Caso de estudio. Se describe detalladamente la metodología de buenas prácticas propuesta para estimar la demanda de entrada al modelo de inversión. Se aplica un caso de estudio de inversión en Capital Humano demandado en proyectos de interés regional en un sector estratégico.

En este primer capítulo se realizó una introducción de la tesis de maestría. Se describió el contexto e importancia del problema abordado, los objetivos, y finalmente la estructura del estudio. Con esta investigación se espera formalizar la asignación de recursos públicos en formación profesional, teniendo en cuenta las necesidades de formación identificadas anteriormente y considerando factores de incertidumbre adscritos al proceso de formación. Se espera que este trabajo sirva de apoyo a las decisiones gubernamentales.

2. ESTADO DEL ARTE

Inicialmente, se hace una revisión en la literatura sobre los modelos de presupuesto de capital donde se citan algunas investigaciones realizadas en el tema, y se describe el inconveniente de usarlos para abordar el problema de inversión en formación de capital humano. A continuación, se presenta un resumen de las investigaciones más relevantes en el problema de asignación de recursos. Se reúne información sobre el tipo de recurso al que van dirigidos los modelos, métodos de solución, aplicaciones. Finalmente, se concluyen los hallazgos de la revisión en relación al tema de investigación.

2.1. MÉTODOS DE PRESUPUESTO DE CAPITAL

En la literatura, se presentan distintos estudios de presupuesto de capital basados en las tradicionales técnicas financieras, orientados al contexto organizacional y gubernamental. Un punto de partida es el trabajo de Lorie y Savage (1955), quienes discutieron por primera vez tres problemas de racionamiento de capital para alternativas de inversión independientes. Los autores propusieron clasificar las propuestas de inversión de acuerdo a su tasa de retorno y seleccionar del ranking empezando con la tasa de retorno más alta.

En el enfoque presentado por Paine (1964), la utilidad de la inversión se define con el Valor Presente Neto (VPN) e incorpora el concepto de incertidumbre con el uso de la teoría de probabilidad. Klammer (1972) realizó un estudio empírico que reportó una preferencia por modelos de flujo de caja descontado, y a su vez, que la mayoría de las investigaciones publicadas indicaban la preferencia por el uso de Tasa Interna de Retorno (TIR) sobre los otros métodos de presupuesto de capital. Más tarde Klammer y Walker (1984) reportaron una vez más el aumento del uso de estas técnicas de selección de proyectos.

Las técnicas de presupuesto de capital evalúan las opciones de inversión en busca de aquellas con el menor costo o mayores ahorros. La publicación del gobierno provincial de Canadá, *Municipal Capital Budget Handbook*, recomienda aplicar un proceso de análisis jerárquico el cual ayuda a ordenar las alternativas para los problemas donde se deben

evaluar varios factores simultáneamente que no pueden cuantificarse fácilmente (Lilian, 2004).

Los métodos tradicionales como el VPN, TIR, la relación costo–beneficio (RCB), el índice de rentabilidad (IR), el período de recuperación (PER), entre otros, pueden ser efectivos y prácticos en casos en que la decisión de inversión requiere inmediatez (Dixit & Pindyck, 1994). Para escenarios cambiantes y con un componente de flexibilidad, el estudio de las opciones reales es un complemento a las herramientas tradicionales de valoración de proyectos de inversión (Fernández & Bustamante, 2009).

Reyck, Degraeve y Vandenborre (2008) presentaron una metodología que integra análisis del árbol de decisión y análisis de opciones reales basado en el valor presente neto, con una correcta valoración del proyecto basada en su incertidumbre inherente.

Algunas opciones reales pueden sugerir aplazar el proyecto, abandonarlo, expandir o reducir la propuesta, entre otros. Los métodos tradicionales sólo asumen que el proyecto se ejecuta de inmediato; así que en muchos casos se pierde confiabilidad en el resultado, ya que una decisión que parecía poco factible, podría serlo en el futuro bajo ciertas consideraciones (Arango, 2015).

Sin embargo, estos métodos no son apropiados para evaluar la inversión de capital público en la formación de capital humano para satisfacer la futura demanda de profesionales. En educación se enfrenta un problema combinatorio, donde las opciones de inversión crecen en la medida en que se tenga más demanda y número de perfiles. Se requiere diseñar una estrategia que priorice la asignación de capital. Este problema es susceptible de ser abordado por técnicas de optimización.

2.2. MODELOS MATEMÁTICOS DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS

La primera revisión literaria del Problema de Asignación de Recursos fue publicada por Koopman (1953), quien abordó la distribución óptima de los esfuerzos disponibles para el desempeño de dos tareas relacionadas, con el objetivo de maximizar las funciones de

retorno. Desde entonces, se han publicado un gran número de artículos en problemas de asignación de recursos. Algoritmos eficientes han sido desarrollados, dependiendo de la forma de las funciones objetivo y restricciones o del tipo de variables, enteras o continuas (Ibaraki & Katoh, 1988).

En 1988, Ibaraki y Katoh (1988) escribieron un libro del estado del arte en aspectos algorítmicos del problema de asignación de recursos. En 2007, Hochbaum (2005) presentó un artículo de revisión sobre algoritmos para problemas de optimización no lineal, y en el siguiente año Patriksson (2006) presentó una revisión sobre el problema de asignación de recursos continuo no lineal y enfoques algorítmicos para sus soluciones. En (2013), Katoh, Shioura e Ibaraki presentaron una revisión del progreso reciente en este tema, con énfasis en los casos con variables enteras. Esta investigación presenta una revisión en la literatura entre los años 1962 y 2014. Se propone una clasificación taxonómica (**Figura 2-1**) de los artículos para organizar las contribuciones hechas por diferentes autores.

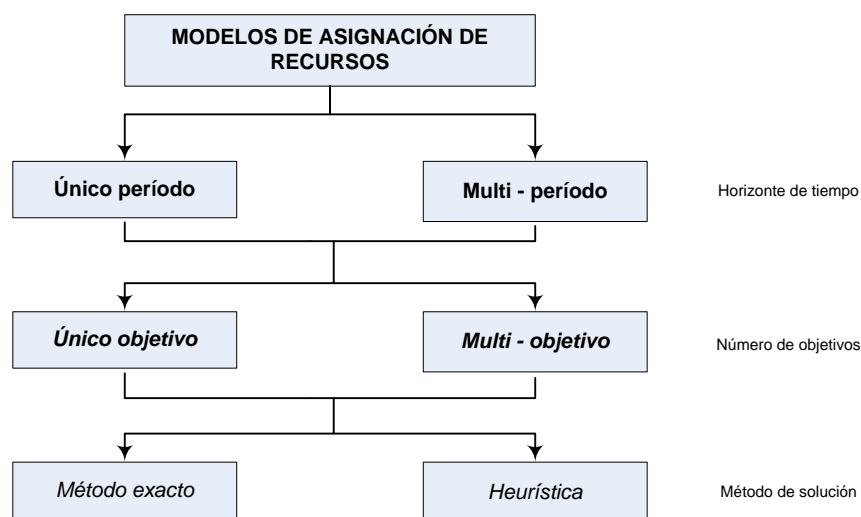


Figura 2-1. Esquema de clasificación basado en horizonte de tiempo, objetivos y método de solución

Las publicaciones fueron clasificadas de acuerdo con algunos atributos relacionados a la estructura del modelo y su solución. Inicialmente los artículos fueron agrupados de acuerdo al horizonte de tiempo de la asignación: multi-período o único período. Luego, son subdivididos de acuerdo al número de objetivos de la función: único objetivo o múltiple

objetivo. Finalmente, cada grupo es clasificado en los diferentes métodos de solución usados por los autores para encontrar una asignación óptima o buena.

2.2.1. Clasificación taxonómica

En esta sección, se presenta un resumen de las investigaciones más relevantes con respecto al tema de investigación. Se precisa el escenario en el cual los autores abordaron el problema de asignación, el valor elegido como función objetivo, el tipo de recurso para el cual fue diseñado el modelo y su área de aplicación.

Inicialmente se presentan los modelos de asignación de único período. Estos modelos buscan tomar decisiones una vez al inicio de un período dado para determinar la mejor asignación basada en datos estimados y su retorno esperado, sin considerar el impacto de las decisiones en períodos futuros. En la **Tabla A1-1** (*Anexos I*) se presentan los modelos de único período con un objetivo y en la **Tabla A1-2** con múltiples objetivos.

A continuación se agrupan los modelos orientados a planear decisiones a lo largo de varios períodos durante un horizonte de tiempo, los cuales muchas veces están interrelacionados. El problema de decisión multi-etapa es comúnmente usado en ambientes de proyectos y organizacionales para asignación de inversión, con el fin de optimizar los recursos disponibles. La variable de tiempo hace menos trivial la solución y requiere el uso de métodos matemáticos para resolverlo. En las **Tabla A1-3** (*Anexos I*) se presenta un resumen de diferentes investigaciones que contemplan múltiples períodos con un objetivo, y en la **Tabla A1-4** se presentan los modelos con múltiples períodos y múltiples objetivos.

2.2.2. Análisis de resultados

Esta sección presenta un análisis estadístico de los trabajos recolectados de la literatura para dar un mejor entendimiento de los problemas de asignación de recursos resueltos en diferentes campos y para identificar áreas potenciales de investigación en futuros estudios. Se considera la función objetivo, escenario de planeación, método de solución, tipo de recurso y área de aplicación.

Tanto en modelos de único período como de múltiples períodos, aproximadamente el 60% de los artículos presentan una formulación con una función objetivo, y el 40% restante tienen múltiples funciones objetivo. Utilidad y costo son las medidas más comunes en todos los problemas, y para toma de decisiones multi-criterio son usados frecuentemente los valores de desviación de la media ideal. En cuanto al escenario, el 72% de los artículos abordan el problema de asignación en un horizonte conocido, y sólo el 28% contemplan un escenario incierto.

El porcentaje de distribución de artículos de acuerdo al tipo de recursos se muestra en la **Figura 2-2**, la cual está dividida en 8 grupos. La naturaleza general es la más usada, para cualquier tipo de recursos que cumpla las condiciones del modelo, seguido por el presupuesto de capital que busca maximizar la utilidad o beneficio del sistema con asignación de recursos financieros. La asignación de mano de obra, recursos en instituciones educativas, organizaciones, activos como equipos y materiales, y otros son encontrados en menor proporción.

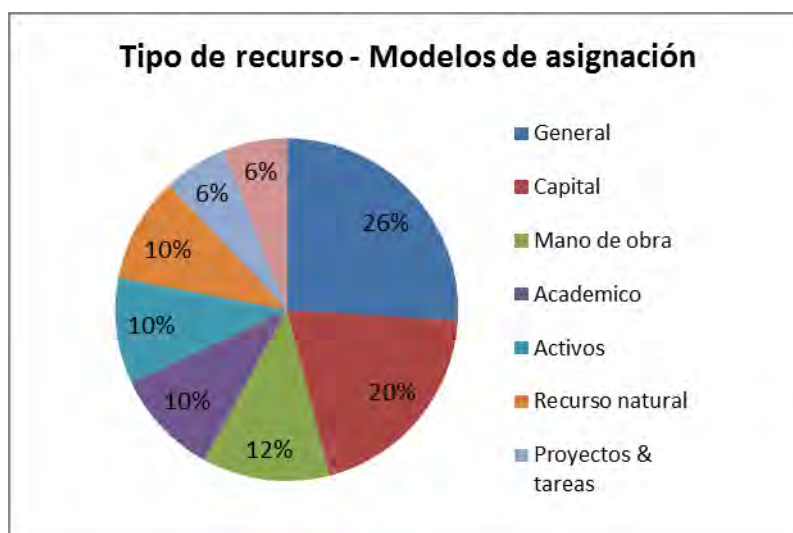


Figura 2-2. Proporción de tipo de recurso de los modelos de asignación

Respecto a los métodos y metodologías usadas por los autores para resolverlos problemas de asignación, existen muchas opciones dependiendo de las condiciones de los modelos. En ambientes multi-período se evidencia una mayor tendencia a usar Programación dinámica y heurísticas, más del 50% de los estudios encontrados, como se observa en la **Figura 2-3**.

En la **Figura 2-4** se muestra que las heurísticas, la programación lineal y entera son usadas en el 80% de los modelos de único período revisados.

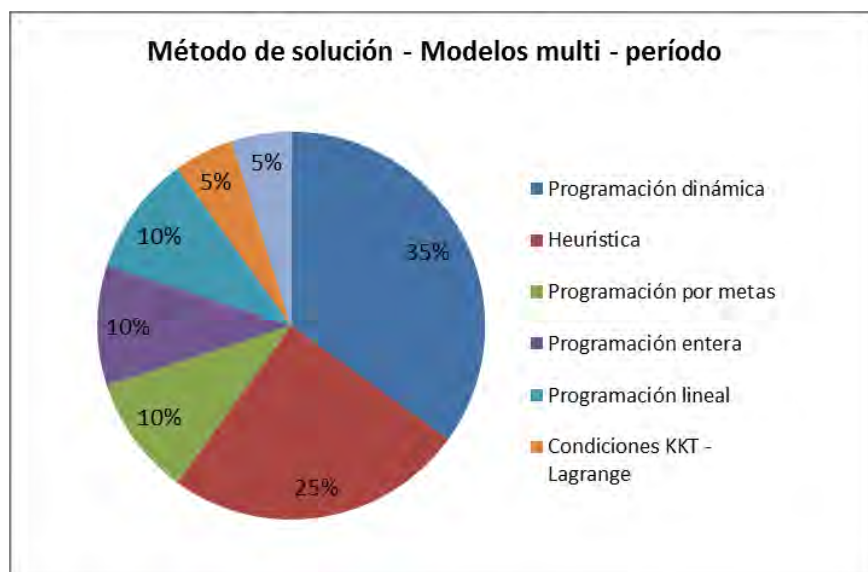


Figura 2-3. Proporción métodos de solución de modelos de múltiples períodos

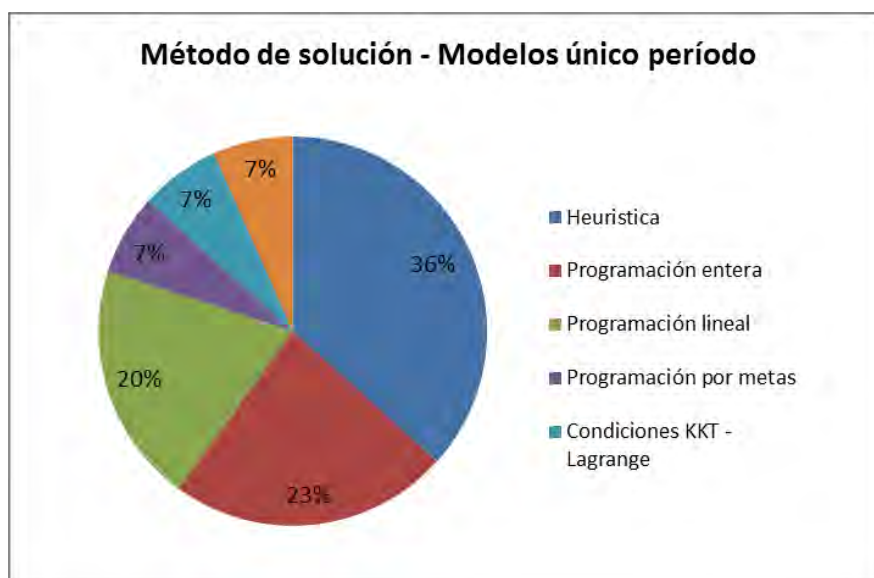


Figura 2-4. Proporción métodos de solución de modelos de único período

Finalmente, la **Figura 2-5** muestra la distribución de artículos de acuerdo al campo de aplicación. Los modelos son enfocados, en el 54% de los artículos revisados, a problemas en organizaciones, sistemas de suministro de servicio como energía y seguridad, y

proyectos y programas. Muchos autores formularon el modelo para ser usado en cualquier situación en condiciones similares. Áreas como mercadeo, educación, militancia, han sido exploradas en menor proporción.

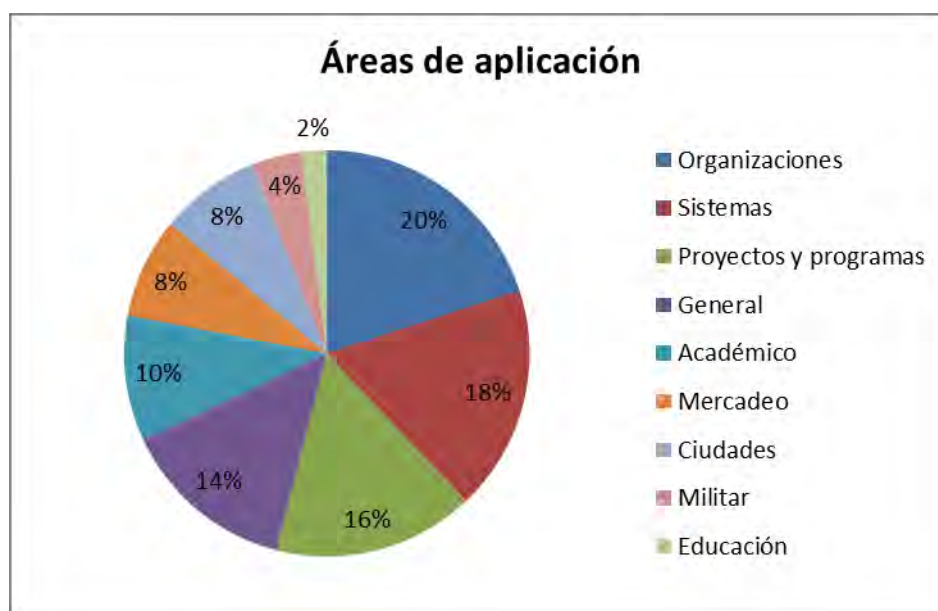


Figura 2-5. Proporción campos de aplicación de los modelos de asignación

DISCUSIÓN:

Con respecto al área de la presente investigación se destacan las siguientes conclusiones:

- En los artículos se observó más comúnmente la aplicación en el contexto generalizado de proyectos de inversión e intereses organizacionales; así que resulta útil intensificar la investigación en el sector público. Hoy en día, el ámbito gubernamental es cada vez más importante a la luz de la creciente preocupación por un gasto público más eficiente.
- La asignación de capital en el área de educación no se ha trabajado extensivamente. Se han realizado estudios en asignación de personas a programas de entrenamiento que solo han contemplado aleatoriedad en el tiempo de estudio.

- No existen modelos que contemplen la educación formal, la inversión de recursos públicos en un escenario multi-período, y a su vez tengan en cuenta factores no controlables de incertidumbre como son la probabilidad de retrasarse en la finalización de los estudios o abandonar el programa académico.
- La programación dinámica fue el método más utilizado en los modelos multi-período. Esta cifra revela las bondades de la técnica y la preferencia de muchos autores por aplicarla a sus trabajos.

En este segundo capítulo se realizó una revisión en la literatura para identificar brechas en el área de investigación y realzar la importancia del estudio propuesto. Este trabajo de investigación espera contribuir a la educación financiada por el sector público en pro de incentivar la innovación y el conocimiento.

3. FORMULACIÓN DEL MODELO DINÁMICO

En este capítulo se describe detalladamente el problema abordado en la investigación. A continuación se presenta una revisión en la literatura sobre teorías de medición del retorno de la inversión pública en capital humano, con base en la cual se define la función objetivo del modelo propuesto. Finalmente, se presenta la estructura matemática propuesta para la estrategia de inversión.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema a abordar es la inversión de dinero público en la formación profesional de alto nivel -becas condonables para posgrados: maestrías y doctorados-, dado que se ha estimado anteriormente la necesidad de educación de acuerdo a los proyectos de inversión en la región (la metodología se amplía en el *Capítulo 5* del documento), y la cantidad de dinero no es suficiente para cubrir toda la demanda.

Las necesidades de educación se definen en “perfiles profesionales” de acuerdo a las áreas estratégicas. En otras palabras, son áreas de conocimiento especializado requeridas en las actividades que se ejecutarán en el sector en crecimiento, tales como telecomunicaciones, finanzas, administración estratégica. La finalización de los proyectos son puntos de referencia para la demanda de estos perfiles.

Existe una demanda D_{it} de cada perfil profesional i en el año t de acuerdo con la proyección de finalización de proyectos de inversión en ese año que requieren al perfil i . Se cuenta con un presupuesto U_t cada período de tiempo t disponible para invertir en formación (*Figura 3-1*). Esta inversión puede incluir los costos de matrícula y sostenimiento del beneficiario, dependiendo de los rubros que se deseen financiar.

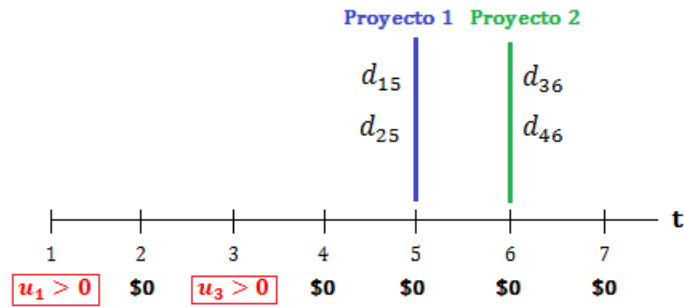


Figura 3-1. Escenario de inversión

La cantidad máxima a formar D^m_{it} de cada perfil profesional i en el período t se calcula de acuerdo a la “holgura de factibilidad”. Esta holgura corresponde al rango máximo de variación permitido entre el fin de formación y el fin del proyecto en el cual es demandado el perfil, dada las posibilidades de finalizar en el tiempo de formación F o en el tiempo de formación más rezago $F + R$.

En la **Figura 3-2** se presenta un ejemplo. Suponga un tiempo de formación de 3 períodos y rezago de 1 período más tarde. La inversión con presupuesto del año 1 podría tener graduandos justo a tiempo en el período 4 y graduandos rezagados en el período 5. Si en el año 1 se forma la demanda del proyecto que finaliza en el período 5 (Proyecto 1) se tendría 1 período máximo de variación con respecto a los graduandos en el año 4, ya que los otros coinciden con el año estimado para su finalización. Así que la holgura de factibilidad la decide el evaluador según su criterio de tolerancia.



Figura 3-2. Escenario de inversión. Holgura de factibilidad

Se considera una probabilidad P^d_i de que al invertir en la educación del perfil i haya deserción y una probabilidad P^r_i de que al invertir en el perfil i ocurra un rezago de tiempo R .

Las beca-créditos condonables para educación tienen una cláusula de permanencia temporal como un instrumento para asegurar que la inversión en capital humano se retribuya al país. Así que se considera una probabilidad P^m_i de que el beneficiario de perfil i emigre de la región una vez cumpla el tiempo laboral exigido para la condonación de la beca.

Como se dijo anteriormente, hay una variación de tiempo permitida entre la graduación de un perfil i y la finalización del proyecto de referencia para el cual es requerido. Se considera una penalización por cada período lejos del punto de referencia, debido a que la persona puede emigrar en busca de oportunidades de trabajo. Esta penalización viene representada por la probabilidad P^a_{it} de que un graduando de perfil i abandone la región dado que finaliza t períodos lejos del proyecto que lo requiere.

El objetivo es encontrar la mejor decisión de inversión en cada período de tiempo con presupuesto disponible que maximice la contribución al ingreso nacional medido por el aumento del salario debido al nuevo nivel de formación (la selección de la función objetivo se amplía en la siguiente sección), teniendo en cuenta la incertidumbre del proceso de formación y permanencia de los graduandos en la región.

3.2. SELECCIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

Según la teoría económica, si los beneficios de un desembolso se materializan en el momento en que se realiza, se categoriza como gasto en consumo, mientras que si los beneficios se perciben a futuro se categoriza como una inversión. Bajo este concepto, la educación indiscutiblemente debe clasificarse como inversión, cuyos retornos y otros frutos intrínsecos se materializan posteriormente a los años de educación (Correa & Montoya, 2013).

La inversión pública en educación ocurre en una economía en la que los individuos tienen diferentes niveles de ingreso y habilidades (Glomm & Ravikumar, 1992). El capital humano es un factor importante de contribución al desarrollo (Romer, 1986) (Lucas, 1988) y medirlo permite conocer su contribución a la riqueza de un país. Según la teoría de capital humano, la inversión educativa mejorará las habilidades de la persona, produciendo un incremento en su productividad, y el aumento del rendimiento trae a su vez el aumento de su salario.

3.2.1. Revisión literaria sobre la medición del capital humano como inversión

Conocer la magnitud del retorno social, es decir los beneficios para la sociedad más allá de la recompensa al individuo educado, resultaría ser una herramienta válida para evaluar la eficiencia de la inversión pública en la educación.

Los economistas tienen un sólido entendimiento de los beneficios privados de la educación, pero muy poco se conoce sobre los retornos sociales (Moretti, 2005). Se percibe que la escasez de personas educadas limita el crecimiento, pero ¿la inversión en educación necesariamente impulsa el crecimiento económico?

Un argumento para soportar esta conclusión se basa en que los países con mayores niveles de desarrollo económico tienen fuerzas laborales con altos niveles de educación formal. En consecuencia muchas teorías afirman que países en vías de desarrollo tienen una mayor oportunidad de ponerse al día con las economías avanzadas, si tienen una reserva de mano de obra con las habilidades para desarrollar o adoptar nuevas tecnologías (World Bank, 2008).

Varios análisis estadísticos han arrojado una relación no significativa entre educación y desarrollo, mientras otros estudios argumentan una relación positiva. Es posible que estas diferencias se deban a las oportunidades limitadas de los trabajadores educados para obtener un trabajo, y por ende para desarrollar nuevas tecnologías y actividades productivas que hagan crecer la economía (World Bank, 2008).

Se ha especulado sobre las externalidades del capital humano. Existe la teoría sobre el “desbordamiento de capital humano” (en inglés, *human capital spillover*), que sostiene que la productividad puede aumentarse más allá de los efectos directos de la educación en el individuo.

Marshall (1980) argumentó que las interacciones sociales entre trabajadores de la misma industria crean oportunidades de aprendizaje que incrementan la productividad. El autor Enrico Moretti (2002) (2003) (2005) ha trabajado en medir el retorno social en varios de sus artículos. ¿Cuál es el efecto de incrementar el nivel del capital humano en la economía de una ciudad? Su propuesta buscó demostrar que el aumento en la cantidad de educados de una ciudad, aumenta el salario promedio de los ciudadanos por el efecto “spillovers” al incrementar la productividad del entorno.

Sin embargo, Fisher (2005) expuso que Moretti no evitó el problema de endogeneidad con su metodología estadística. Por ejemplo, la localización de una industria tecnológica atraerá profesionales universitarios, y al ser una localidad más productiva, los salarios indiscutiblemente se elevarán.

Cualquier análisis de rentabilidad social debe considerar las condiciones del entorno. Mingat y Tan (1996) realizaron un estudio que demostró el efecto de los ingresos del país en la rentabilidad social de la educación. La inversión en educación universitaria se mostró positiva en países de economía avanzada, mientras que en países de ingreso bajo y medio resultó rentable la educación básica y secundaria.

Las dificultades para cuantificar los retornos sociales son grandes, aunque la percepción de sus efectos sea real. Economistas e investigadores han propuesto modelos para intentar medir la magnitud de este retorno, pero han quedado cortos en el efecto total que genera la educación en la sociedad. Además resulta muy complejo considerar todos los factores que intervienen en este estudio.

Jorgenson y Fraumeni (1992) concluyeron que el apropiado valor de la producción educativa está dado por el impacto de los ingresos laborales de por vida en el individuo, que no solo debe limitarse a las actividades del mercado, sino también al valor de actividades como el ocio y la crianza.

En el trabajo de Psacharopoulos y Ying (1992) se argumentan tres razones por las cuales es importante examinar las relaciones entre ganancias y educación (Psacharopoulos & Patrinos, 2004). “Las diferencias de salarios entre diferentes tipos de educación muestran el premio de invertir en formación, se puede hacer un análisis costo-beneficio de la inversión, y finalmente es una evaluación de la equidad en una sociedad reflejada por ejemplo en contribuir al alivio de la pobreza y reducción de la desigualdad en el ingreso” (Pantoja, 2010).

En Colombia no existen las condiciones económicas para que la educación sea financiada absolutamente por el individuo y las familias. La financiación estatal se enfoca en ampliar la cobertura y mejorar la calidad de formación, para atenuar brechas y evitar caminar hacia la pobreza (Pantoja, 2010).

3.2.2. Objetivo del modelo propuesto

Como se expuso en la sección anterior, en la literatura no se ha formalizado la cuantificación del retorno social. Muchos factores están inmersos en este contexto que dificultan el cálculo de su efecto.

La inversión en educación mediante la figura de becas crédito, no representa una cantidad significativa de habitantes con un mayor nivel de formación en la sociedad. Pensar en indicadores como el aumento del PIB o del índice de desarrollo humano no resultaría apropiado a pequeña escala, donde el aumento del valor sería prácticamente nulo.

La medición de la inversión en capital humano podría mirarse desde otra perspectiva. Resulta apropiado citar en esta investigación la teoría psicológica propuesta por Abraham Maslow en su obra “*Una teoría sobre la motivación humana*” publicada en 1943. La

pirámide de Maslow formula una jerarquía de necesidades humanas. Conforme se satisfacen las necesidades más básicas (parte inferior de la pirámide), los seres humanos desarrollan necesidades y deseos más elevados (parte superior de la pirámide).

“La aspiración de los segmentos de la población más acomodada es elevar aún más su nivel de vida y mejorar su calidad de vida. Esto representa una mejora en la calidad de los bienes básicos, y en la variedad y cantidad de bienes de que dispone una persona para optar entre diversas posibilidades, por ejemplo en relación con la vivienda, vestido o alimentos. Las aspiraciones humanas también abarcan el deseo de un entorno más sano y limpio, actividades culturales, la capacidad de disponer de tiempo libre y utilizarlo de una manera agradable” (OIT, 1966).

Para que las personas puedan alcanzar sus diversas necesidades deben disponer de unos buenos ingresos. Basados en la relación justa *a mayor productividad mayor salario*, el aumento del nivel de formación profesional le otorgará al individuo una mayor retribución económica, y por consiguiente, una mayor capacidad de satisfacer sus necesidades.

Según el Observatorio Laboral del Ministerio de Educación de Colombia, las cifras estadísticas del seguimiento de los graduados de la educación superior entre 2001 y 2013 revelan que a medida que los colombianos avanzan en su formación profesional, se incrementan los salarios. “Los graduados del nivel universitario en el 2013 y que están trabajando formalmente en el 2014, reciben en promedio un salario de \$1.736.849. A su vez, el salario de enganche de un graduado de maestría, supera los \$3,9 millones”. (SNIES, 2015)

Entonces se percibe que la inversión en educación favorece el bienestar del graduando y quizás de su entorno familiar, quienes también se podrían beneficiar de una mayor estabilidad económica. Pero es lógico destacar, que esta situación a su vez se extiende al contexto social.

El principio de la capacidad de pago plantea que quienes obtienen mayores ingresos por trabajo y/o capital deberán pagar mayores impuestos (Zarur, 2004). En otras palabras la carga tributaria se determina en función de la capacidad económica del individuo.

La asignación de dinero para elevar el nivel de formación, se retribuye al Gobierno con un mayor aporte al recaudo nacional representado en impuestos, ya que estas personas devengan mayores rentas y adquieren mejores viviendas, autos, bienes de lujo, a lo largo de su vida.

Por estas razones, se propone evaluar la inversión pública en educación mediante el *análisis costo-beneficio del retorno privado*. El Estado mejora la calidad de vida de habitantes, y de forma adyacente, eleva el recaudo nacional que repercutirá a futuro en nuevas inversiones.

La investigación asume que las convocatorias se ofrecen con un límite de edad; una estrategia para asegurar un tiempo mínimo de vida laboral activa del beneficiario. Cuando se han acumulado años de trabajo, se fortalecen las habilidades y el conocimiento en un área determinada. Pero no se contempla el factor experiencia en el modelo, ya que se asume va dirigido a personas sin conocimiento especializado, que por consiguiente requieren un mayor nivel de formación para tener las capacidades idóneas para ejecutar las actividades.

3.3. FORMULACIÓN MATEMÁTICA

En esta sección se presentan las consideraciones asumidas en la investigación y la estructura matemática de la estrategia de inversión. Se definen todos los parámetros y variables contenidos en el planteamiento del modelo.

3.3.1. Supuestos de la investigación

Los siguientes supuestos son considerados para la formulación del problema:

- El tiempo de formación F es igual para todos los perfiles.
- El tiempo de rezago R es igual para todos los perfiles.

- Solo hay financiación durante el período ordinario de estudio F . Los períodos de atraso no se financian.
- Se supone que durante el tiempo de formación F el beneficiario no labora, por el requisito de dedicación completa a sus estudios.
- La probabilidad de abandono representa una penalización para el perfil por graduarse t períodos lejos del proyecto de referencia. Esto simboliza el posible abandono al proyecto para el que fue formado potencialmente, ya que puede emigrar en busca de otras oportunidades de trabajo.

3.3.2. Parámetros y variables

La notación utilizada para la formulación del problema se define a continuación:

N = Número de perfiles

T = Número de períodos en el horizonte de tiempo

i = índice de perfil, $i = 1, 2, \dots, N$

t = índice de período, $t = 1, 2, \dots, T$

U_t = Presupuesto disponible en el período t

F = Tiempo de formación (períodos)

R = Tiempo de rezago contemplado (períodos)

E = Tiempo exigido de permanencia para condonación de beca (períodos)

L = Tiempo laboral promedio (períodos)

P^d_i = Probabilidad de deserción del perfil i (Distr. probabilidad discreta)

P^r_i = Probabilidad de rezago de tiempo r del perfil i (Distr. probabilidad discreta)

P^m_i = Probabilidad de migración del perfil i luego de cumplir el tiempo exigido de permanencia

P^a_{ij} = Probabilidad de abandono del perfil i al culminar formación j períodos lejos del proyecto

H = Tiempo de variación máximo entre fin de formación y fin de proyectos (períodos)

D_{it} = Demanda del perfil i por finalización de proyectos en el período t

D^m_{it} = Cantidad del perfil i máxima a formar en el período t

C^m_{it} = Costo financiado del perfil i al inicio del período t (matrícula y/o sostenimiento)

C^o_{it} = Costo de oportunidad del perfil i al formarse durante el período t

Y_{it} = Diferencia ingreso (nivel posgrado – nivel pregrado) del perfil i graduado en el período t

n_i = Cantidad del perfil i pendiente a formar en el período t

m = Máxima demanda entre todos los perfiles

α_i = Cantidad del perfil i a la que se calcula su importancia

A = Factor de amplificación

Variables de decisión:

X_{it} = Cantidad del perfil i a formar al inicio del periodo t

G_{itj} = Cantidad del perfil i graduado en el periodo t , j periodos lejos del proyecto

El modelo matemático es el siguiente:

$$\max \left(\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=0}^H (1 - P_{ij}^a) * \left[G_{itj} * VPN \left(\sum_{w=0}^E Y_{it+w} \right) + (1 - P_i^m) * \left(G_{itj} * VPN \left(\sum_{w=E+1}^{E+L} Y_{it+w} \right) \right) \right] \right. \right. \\ \left. \left. - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N VPN \left[X_{it} * \left(\sum_{z=0}^F C_{it+z} \right) \right] \right) \right)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^N (X_{it} * C_{it}) \leq U_t, \quad \forall t$$

$$\sum_{i=1}^N X_{it} \leq n_{it}, \quad \forall i, \forall t$$

Donde,

$$C_{it} = C_{it}^m + C_{it}^o$$

$$(G_{it})_j = (X_{it-F}) * (1 - (P_i^r)_t - (P_i^d)_t) + (X_{it-F-R}) * (P_i^r)_t$$

$$n_{it} = D_{it}^m - \sum_{j=1}^H G_{itj} - (X_{it-1} + \dots + X_{it-F-R+1})$$

$$D_{it}^m = \sum_{j=1}^H (D_{it+j} + D_{it-j})$$

$$X_{it}, G_{itj} \geq 0, \quad X_{it}, G_{itj} \in \mathbb{Z}$$

3.3.3. Función objetivo

El retorno esperado de la inversión está afectado por la probabilidad del beneficiario de abandonar la región o país que patrocinó sus estudios al culminar el posgrado j periodos lejos de la fecha de finalización del proyecto de referencia para el cual fue formado (*Ecuación 1*).

$$\sum_{j=0}^H (1 - P_{ij}^a) \quad (1)$$

Durante el período obligatorio para condonación se calcula la diferencia de salario esperada por el nuevo nivel de formación para todos los graduandos. Se asume con respecto al ingreso que recibiría con formación de pregrado (*Ecuación 2*).

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=0}^H (1 - P_{ij}^a) * \left[G_{itj} * VPN \left(\sum_{w=0}^E Y_{it+w} \right) \right] \right) \quad (2)$$

Este valor se suma a la diferencia de salario esperado por el tiempo promedio laboral activo de las personas graduadas de la convocatoria, que está afectado por la probabilidad del perfil de migrar una vez se cumpla el tiempo obligatorio de trabajo en la región o país (*Ecuación 3*).

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=0}^H (1 - P_{ij}^a) * \left[G_{itj} * VPN \left(\sum_{w=0}^E Y_{it+w} \right) + (1 - P_i^m) * \left(G_{itj} * VPN \left(\sum_{w=E+1}^{E+L} Y_{it+w} \right) \right) \right] \right) \quad (3)$$

Finalmente, a la expresión de beneficio consignada en la *Ecuación 3* se le resta el gasto total de la inversión. Este abarca los rubros financiados por la beca (matrícula y/o sostenimiento) y el costo de oportunidad de no laborar durante el tiempo de formación F

como requisito de dedicación exclusiva a los estudios, que corresponde a los salarios que deja de recibir el beneficio con formación de pregrado (*Ecuación 4*).

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N VP_N \left[X_{it} * \left(\sum_{z=0}^F C_{it+z} \right) \right] \quad (4)$$

Donde,

$$C_{it} = C_{it}^m + C_{it}^o \quad (5)$$

C_{it}^m incluye matrícula y/o sostenimiento

La cantidad de graduandos está enmarcada por factores probabilísticos. En un determinado período, corresponde a la proporción de personas que se decide formar F períodos atrás y finalizan en el tiempo de formación F , más la proporción de personas que se decide formar $F + R$ períodos atrás y finalizan r períodos más tarde. En cada período las proporciones se hallan bajo una distribución de probabilidad discreta de rezago y deserción por perfil. (*Ecuación 6*)

$$(G_{it})_j = (X_{it-F}) * (1 - (P_i^r)_t - (P_i^d)_t) + (X_{it-F-R}) * (P_i^r)_t \quad (6)$$

3.3.4. Restricciones

La primera restricción (*Ecuación 7*) asegura que el gasto financiado en cada período no sea mayor al capital disponible.

$$\sum_{i=1}^N (X_{it} * C_{it}) \leq U_t, \quad \forall t \quad (7)$$

La segunda restricción (*Ecuación 8*) se refiere a no exceder la demanda máxima fijada para cada perfil en cada período con presupuesto disponible. Además de contabilizar los graduandos obtenidos hasta el momento, se resta la cantidad que se decidió formar períodos atrás y de la cual aún no se conoce la cantidad total de desertores. La demanda máxima se calcula de acuerdo a la variación permitida.

$$\sum_{i=1}^N X_{it} \leq D_{it}^m - \sum_{j=1}^H G_{itj} - (X_{it-1} + \dots + X_{it-F-R+1}) \quad , \quad \forall i, \forall t \quad (8)$$

Donde,

$$D_{it}^m = \sum_{j=1}^H (D_{it+j} + D_{ij-j}) \quad (9)$$

Finalmente, se consideran la restricción de no negatividad y variables enteras de decisión.

Este capítulo presentó el modelo propuesto para abordar la asignación de recursos en un horizonte de tiempo. Se describieron los parámetros y variables considerados en la formulación matemática. La función objetivo fue elegida según la revisión del tema en la literatura y los argumentos considerados por los autores.

4. SOLUCIÓN DEL MODELO DINÁMICO: TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN DINÁMICA

La programación dinámica es un enfoque de optimización que transforma un problema complejo en una secuencia de problemas más simples. Su principal característica es la estructuración del problema en múltiples etapas, que se resuelven secuencialmente una etapa a la vez. Asociado a cada etapa del problema, están los estados del proceso, los cuales reflejan la información requerida para evaluar las consecuencias de la decisión actual sobre las acciones futuras. (Bradley, Hax, & Magnanti, 1977)

La característica general de este enfoque es el desarrollo de un procedimiento recursivo, que construye la solución del problema general de N etapas, resolviendo primero el problema de una etapa y de manera secuencial va incluyendo una etapa a la vez, hasta encontrar el óptimo global. Este procedimiento puede basarse en un proceso de inducción hacia atrás, donde la primera etapa analizar es la etapa final del problema, o el proceso de inducción hacia adelante, donde la primera etapa analizar es la etapa inicial. (Bradley, Hax, & Magnanti, 1977)

La solución del modelo propuesto se basa en Programación Dinámica. En este capítulo se definen los componentes del modelo, se describe la construcción de la red matricial utilizada para evaluar la secuencia de decisiones, y se explica la técnica de solución del esquema.

4.1. COMPONENTES DEL MODELO

Se identifican los siguientes elementos:

- **ETAPAS:** Una etapa t es un período de tiempo que dispone de un presupuesto U_t para invertir en formación profesional y/o un periodo de tiempo en el que habrán graduados de inversiones realizadas anteriormente. En cada etapa existe una cantidad máxima de perfiles a formar D^m_{ij} .

- **ESTADOS:** Un estado i de la etapa t es la cantidad G_{it} formada exitosamente de cada perfil i hasta ese momento.
- **POLÍTICA DE DECISIÓN:** Para un estado i de la etapa t con presupuesto $U_t > 0$, la política de decisión consiste en evaluar factibles combinaciones de cantidades de cada perfil a formar, teniendo en cuenta la restricción de presupuesto y la cantidad demandada por perfil.

Dado que la necesidad de formación es resultado de los vacíos en la futura oferta profesional, se busca invertir el presupuesto entre todos perfiles demandados en igual proporción, en la medida que sea posible, para llenar estas carencias profesionales de la región.

Se propone un método para evaluar la importancia de invertir en una determinada cantidad de cada perfil demandado en un escenario común. Esto corresponde a una métrica global para relacionar la cantidad Q_i para el perfil $i = 1$, con la cantidad Q_i para el perfil $i = 2$, y así sucesivamente (**Figura 4-1**). La estrategia para cuantificar esta “importancia relativa” se propone para dos principios.

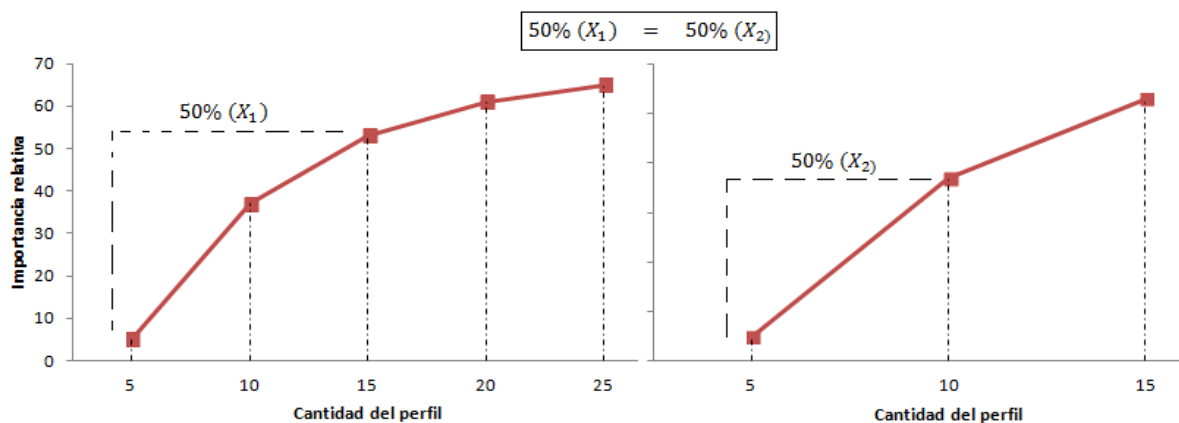


Figura 4-1. Estrategia de Importancia relativa

El primero afirma que un perfil va perdiendo importancia a medida que la cantidad invertida aumenta, ya que se incrementa la oferta en el mercado (**Figura 4-2**). El segundo principio sostiene una importancia constante para todas las posibles cantidades de un mismo perfil (**Figura 4-3**).

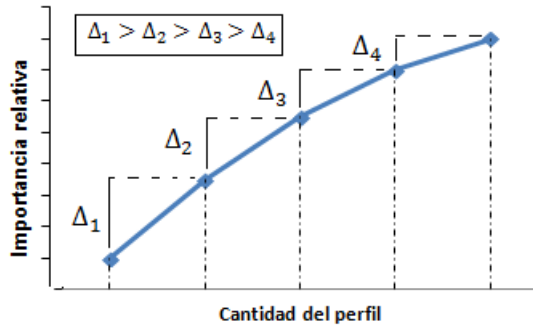


Figura 4-2. Gradiente de importancia decreciente

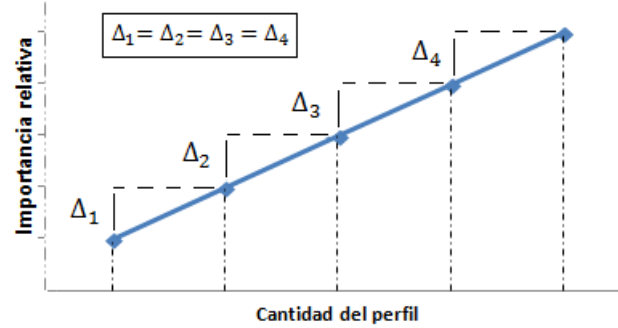


Figura 4-3. Gradiente de importancia lineal

La estrategia de cuantificación para el primer principio se basa en el cálculo de un gradiente que disminuye al aumentar las cantidades, tomando como métrica de referencia el perfil con mayor demanda. Por otro lado, la cuantificación para el segundo principio se basa en el cálculo de un gradiente constante.

Sea $I(i)$ la función de importancia relativa acumulada para el perfil i en un instante de tiempo. La cuantificación del primer principio se halla con la **Ecuación 10**, y la cuantificación del segundo principio con la **Ecuación 11**.

$$I(i) = (n_{it} + 1 - a_i) * \left(\frac{\frac{m(m+1)}{2} * A}{\frac{n_{it}(n_{it}+1)}{2}} \right) \quad (10)$$

$$I(i) = \left(\frac{m * A}{n_{it}} \right) \quad (11)$$

Donde,

n_i = Cantidad del perfil i pendiente a formaren el período t

m = Máxima demanda entre todos los perfiles

a_i = Cantidad del perfil i a la que se calcula su importancia

A = Factor de amplificación

Sumado a esta consideración, las decisiones de inversión no deben descuidar la utilización máxima del presupuesto disponible en cada período. El dinero remanente se traduce en desaprovechamiento de capital. Así que se identifican dos objetivos: 1) maximizar la importancia relativa de las cantidades asignadas y 2) minimizar el presupuesto restante.

Debido a la amplia cantidad de soluciones que aumentan las combinaciones a evaluar y la naturaleza multi-objetivo del problema, se elige el algoritmo genético como método de solución para encontrar las posibles decisiones por período. El problema puede ser abordado por esta técnica ya que su espacio de búsqueda es limitado, y se tiene una función de aptitud que permite medir qué tan buenas son las respuestas obtenidas.

4.1.1. Algoritmo genético

En el *Algoritmo 1* se presentan los pasos de la programación del algoritmo genético para la generación de decisiones cada período con $\text{presupuesto} > 0$, con los objetivos de 1) maximizar la importancia relativa y 2) minimizar el presupuesto restante. El criterio de parada se establece por número de generaciones.

Algoritmo 1: Algoritmo genético

1. Cálculo de las cantidades a evaluar de cada demanda.
2. Cálculo de la importancia relativa de las cantidades de cada perfil.
3. Generación de población inicial: Llamar función “Búsqueda aleatoria por Fitness” (Algoritmo 2).

Ciclos = 0

Mientras (Ciclos \leq iteraciones)

4. Cálculo del Fitness y torta de probabilidad
5. Aplicación de la estrategia de cruce. Mejoramiento de los cruces resultantes.
6. Aplicación de la estrategia de mutación. Mejoramiento de las mutaciones resultantes.
7. Generación de nueva población: cruzados + mutados + nuevas soluciones.
8. Mejoramiento de la nueva población: exploración unitaria alrededor de las soluciones encontradas.
9. Cálculo de la población elitista.

Ciclos = Ciclos + 1

Fin

A continuación se detalla información del algoritmo genético.

Cromosoma: Se define como “*la cantidad a formar de cada perfil*”. Por ejemplo, si se tienen las demandas de la **Tabla 4-2**, un posible cromosoma sería el de la **Figura 4-4**, donde se decide formar 10 personas con perfil 1, 15 personas con perfil 2, 20 personas con perfil 3 y 5 personas con perfil 4.

Tabla 4-1. Demandas en el estado i del período t

Perfil	Demanda
1	25
2	30
3	40
4	10

10	15	20	5
----	----	----	---

Figura 4-4. Estructura del cromosoma

Espacio de búsqueda: El número de combinaciones posibles crecen exponencialmente al aumentar el número de perfiles y la cantidad demandada. Aquellas que cumplen la restricción de costo se consideran soluciones factibles del problema.

Se propone hacer una exploración desarrollando rangos de búsqueda, y luego de manera continua alrededor de las mejores soluciones encontradas, en busca de un posible mejoramiento de la solución.

El objetivo de la propuesta es disminuir la complejidad de la exploración al reducir el espacio de búsqueda, y se minimiza el riesgo de excluir buenos resultados con la exploración continua al final de cada iteración.

Se sugiere que las posibles cantidades a formar de cada perfil se incrementen según el rango definido por el usuario, esto quiere decir que dado un rango de 5 y una demanda de 20, las cantidades a evaluar serán de 5, 10, 15 y 20 individuos.

En los casos donde la demanda no sea múltiplo del rango, por ejemplo un rango de 5 y una demanda de 22, se aplica el siguiente procedimiento:

1. Se divide la demanda entre el rango y se toma el residuo.
2. Se verifica si el residuo es menor o igual a (rango/2). Si lo es, la primera cantidad será el rango más el residuo, y las siguientes cantidades se irán incrementando según el rango definido hasta completar la demanda. En caso contrario, la primera cantidad a evaluar será el residuo y las siguientes cantidades se irán incrementando según el rango definido hasta completar la demanda. En la **Tabla 4-1** se muestra dos ejemplos.

<p><i>Demanda = 22 , Rango = 5</i></p> <p>$Residuo \left(\frac{22}{5} \right) = 2$</p> <p><i>Como residuo $< \frac{5}{2}$, cantidades a evaluar son:</i></p> <p>$7 - 12 - 17 - 22$</p>	<p><i>Demanda = 23, Rango = 4</i></p> <p>$Residuo \left(\frac{23}{4} \right) = 3$</p> <p><i>Como residuo $> \frac{4}{2}$, cantidades a evaluar son:</i></p> <p>$3 - 7 - 11 - 15 - 19 - 23$</p>
--	--

Tabla 4-2. Cantidades a evaluar

Población inicial y nuevas soluciones: Se propone la búsqueda aleatoria como estrategia para la generación de la población inicial y los nuevos cromosomas que harán parte de la nueva población que pasa a la siguiente generación (**Algoritmo 2**).

Algoritmo 2: Búsqueda aleatoria por Fitness

Para – Recorrer cada solución

Mientras (**Perfiles disponibles** > 0)

1. Revisión de los perfiles cuya siguiente cantidad a evaluar cumple restricción de costo.

Si no cumplen

Perfiles disponibles = Perfiles disponibles – 1

Fin

2. Cálculo de la torta de probabilidad según Objetivo Importancia Relativa para perfiles disponibles.
3. Generación de aleatorio y elección de un perfil.
4. Actualización de la solución con la siguiente cantidad a evaluar del perfil elegido.

Fin

Siguiente

La elección de las cantidades de cada perfil se realiza con una torta de probabilidad. En primer lugar, se evalúan aquellos perfiles cuya siguiente cantidad a evaluar cumple la restricción de costo. Como se dijo anteriormente, las cantidades a evaluar se incrementan según el rango definido (*Supuesto A*).

De esta manera, el peso de cada perfil está dado por la importancia relativa de la siguiente cantidad a evaluar. Por ejemplo (*Tabla 4-3*), si se ha decidido invertir en 5 personas del perfil 1 y el incremento es de 5 personas, el siguiente valor a evaluar es 10 personas en total. En caso de manejarse una *importancia decreciente* su valor será menor al primer rango asignado.

Tabla 4-3. Ejemplo: rangos disponibles para asignar

	Demanda	Cantidades a evaluar	Cantidad asignada
<i>Perfil 1</i>	15	5 – 10 – 15	5
<i>Perfil 2</i>	25	5 – 10 – 15 – 20 - 25	10

Función de fitness: Corresponde a una función de suma ponderada, que representa la superioridad de un cromosoma en comparación con el resto de individuos. Sea $G(x)_1$ la función objetivo de maximizar la importancia relativa acumulada y $G(x)_2$ la función objetivo de minimizar el presupuesto restante. Sean α y β el peso ponderado de las funciones objetivo respectivamente. La función fitness corresponde a:

$$Fitness = [\alpha * G(x)_1] + [\beta * G(x)_2]$$

Operador de cruzamiento: Para el diseño de la estrategia de cruce se tuvo en cuenta que generara siempre soluciones factibles El operador de cruzamiento trabaja como sigue:

- 1- Se seleccionan aleatoriamente un cromosoma padre y un cromosoma madre.
- 2- Se eligen $n/2$ perfiles a cruzar aleatoriamente (aproximado al entero más cercano). Del resto de perfiles se copia la información del padre.
- 3- Se intercambian esas posiciones, pasando los datos de la madre al cromosoma hijo.

4- Se evalúa el cumplimiento de la restricción de presupuesto. En caso de no cumplirse, se repite el procedimiento.

En la **Figura 4-5** se muestra un ejemplo.

Cromosoma padre	5	0	15	15
Cromosoma madre	10	5	10	10
Cromosoma hijo	5	5	10	15

Figura 4-5. Ejemplo: estrategia de cruzamiento

Luego, se aplica una estrategia de mejoramiento, para utilizar el presupuesto lo mayormente posible:

- 1- Se elige un perfil aleatoriamente.
- 2- Se evalúa si la siguiente cantidad a evaluar cumple la restricción de costo. En caso de cumplirse, se actualiza la solución, en caso contrario se suma a un contador.
- 3- Cuando el contador alcance un valor igual al número total de perfiles, se detiene el ciclo; en caso contrario se continúa el procedimiento.

Operador de mutaciones: Para el diseño de la estrategia de mutación se tuvo en cuenta la ergodicidad del operador de permitir que se pueda llegar a todos los puntos del espacio de búsqueda. También se verifica que los individuos resultantes de la operación pertenezcan al espacio de solución factible. El operador de mutación trabaja como sigue:

- 1- Se selecciona aleatoriamente un cromosoma.
- 2- Se eligen $n/3$ perfiles a mutar aleatoriamente (aproximado al entero más cercano). Del resto de perfiles se copiará la información del cromosoma seleccionado.
- 3- De todas las cantidades a evaluar de los perfiles elegidos en el paso anterior, se selecciona aleatoriamente una de cada perfil.
- 4- Se reemplazan las posiciones por la cantidad seleccionada para cada perfil.

5- Se evalúa el cumplimiento de la restricción de presupuesto. En caso de no cumplirse, se repite el procedimiento.

En la **Figura 4-6** se presenta un ejemplo de la estrategia:

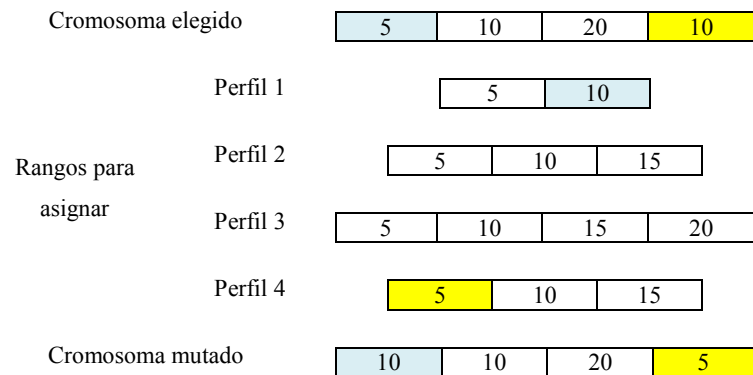


Figura 4-6. Ejemplo: estrategia de mutación

Luego, se aplica una estrategia de mejoramiento, para utilizar el presupuesto lo mayormente posible:

- 1- Se elige un perfil aleatoriamente.
- 2- Se evalúa si la siguiente cantidad a evaluar cumple la restricción de costo. En caso de cumplirse, se actualiza la solución, en caso contrario se suma a un contador.
- 3- Cuando el contador alcance un valor igual al número total de perfiles, se detiene el ciclo; en caso contrario se continúa el procedimiento.

Nueva población: Se compone de todos los cromosomas hijos de la mutación y cruzamiento. Los cromosomas faltantes para completar la población se generan mediante el algoritmo de Búsqueda Aleatoria descrito anteriormente (**Algoritmo 2**). Esta población pasará a la siguiente iteración.

Mejoramiento de la nueva población: Se propone una estrategia de exploración alrededor de los valores cercanos a la cantidad elegida de cada perfil para evaluar si se mejora la solución actual (Los pasos de la programación se presentan en el **Algoritmo 3**). La

población resultante de la exploración unitaria no pasa a la siguiente iteración, solo se utiliza para comparar y calcular la nueva población élite.

Algoritmo 3: Exploración unitaria

$i = 1$

Mientras ($i \leq \text{población}$)

Para- Recorrer cada perfil

Definir las posibles cantidades mayores y menores a la cantidad actual.

Generar un aleatorio para elegir la cantidad.

Siguiente

Si la solución cumple la restricción de costos

Mejoramiento de la solución.

Si nueva solución domina la solución actual

Reemplazar solución actual por nueva solución.

Fin

$i = i + 1$

Fin

Fin

Las cantidades a elegir aleatoriamente oscilan entre la cantidad superior e inferior a la actual sin incluir los valores extremos, es decir los valores intermedios entre estos. Un ejemplo se muestra en la **Figura 4-7**.

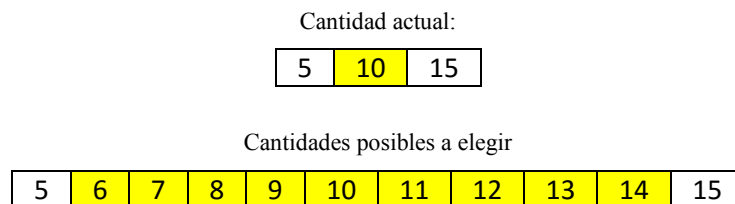


Figura 4-7. Ejemplo: Cantidades en exploración unitaria

Una vez se obtiene un resultado que cumpla la restricción de costos, se procede al mejoramiento de la solución. El procedimiento es el mismo aplicado en cruces y

mutaciones, con la diferencia que la siguiente cantidad a evaluar se incrementa de manera unitaria (+1). Si esta nueva solución es mejor a la anteriormente encontrada se reemplaza.

Población elitista: Se evalúa la población resultante de la exploración unitaria. En la comparación de todas las soluciones con la lista élite actual, se utiliza una dominancia débil para elegir los mejores cromosomas generados. Un cromosoma domina a otro, si el valor de su función objetivo 1 es mayor o igual, y el valor de su función objetivo 2 es menor. En caso contrario, ambos cromosomas harán parte de la lista élite.

4.1.1.1) Configuración de parámetros del Algoritmo Genético

El rango en que se incrementan las cantidades a evaluar es un dato de entrada a definir por el usuario, el cual debe definirse en estrecha relación con la demanda ingresada de cada perfil. Los valores de alfa y beta también son definidos por el evaluador según la importancia que le otorgue a cada objetivo.

Los parámetros tamaño de población, número de generaciones, tasa de mutación y tasa de cruce quedan abiertos a ingresar por el usuario. Estos podrían determinarse mediante experimentación.

4.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SOLUCIÓN

La solución del modelo dinámico con la aplicación de la Programación Dinámica se compone de dos etapas: la construcción del esquema matricial y la solución por el método de inducción hacia atrás.

4.2.1. Esquema matricial

La red matricial consta de estados o nodos en los períodos en que ocurre un evento: decisiones de inversión o graduandos. Los pasos de programación del esquema se muestra a continuación en el *Algoritmo 4*.

Algoritmo 4: Construcción del esquema matricial

PARA - Recorrer cada período

SI (en $t \rightarrow$ hay eventos)

PARA – Recorrer cada estado

SI ($\text{presupuesto}_t > 0$)

1. Revisar futuras cantidades de graduandos en tiempo estimado, desertores, rezagados.
2. Calcular cantidad de perfiles faltantes a formar:

Demanda – Estado actual – (graduandos justo a tiempo + desertores + rezagados)

3. Ejecutar política de decisión:

Asegurar cantidad mínima de cada perfil.

Llamar función “Algoritmo genético”.

4. Evaluar resultados de la inversión: Futura cantidad de graduandos justo a tiempo, desertores y rezagados.

FIN

5. Encontrar próximos estados:

Si (próximo $t \rightarrow$ hay inversión y no graduandos)

No hay nuevos estados.

sino

Hallar nuevos estados.

Fin

FIN %Recorrer todos los estados

FIN %Si hay eventos en t

FIN %Recorrer todos los períodos

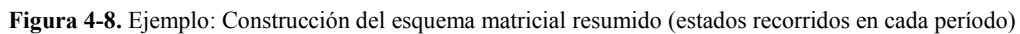
La red matricial va creciendo con las decisiones generadas por la política de decisión. Cada camino conduce a una futura cantidad de graduandos justo a tiempo, rezagados y desertores. Estos dos últimos se calculan con base en la generación de una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad discreta de rezago y deserción fijada para cada perfil, que se determina por período. Una vez se tengan satisfactoriamente graduados, la nueva oferta en el mercado de cada perfil se traduce como un nuevo estado del sistema.

Cuando se ha tomado una decisión de inversión d_1 una cantidad de períodos hacia atrás pero aún se desconocen los resultados en el presente período t , la demanda a cubrir con el actual presupuesto excluye las cantidades contenidas en la decisión d_1 , ya que se asume

que aún se está a la espera de observar cuantas personas finalizaron sus estudios satisfactoriamente. Una vez esto ocurre, se incluye la cantidad desertada que no finalizó su formación en la demanda de cada perfil.

En las entradas del modelo es posible establecer un porcentaje de cumplimiento mínimo p_{it}^c de la demanda del perfil i en el período j . Con esto se asegura que durante la asignación se reserve presupuesto al inicio para cubrir al menos la demanda esperada.

En la **Figura 4-8** se presenta un ejemplo, del esquema matricial resumido con los estados que se van creando a medida que se expande la red. Se supone un tiempo de formación de 4 períodos, 5 perfiles y un tiempo de rezago de 2 períodos más tarde. La red inicia con el estado $e_1 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ en el que se tienen cero personas formadas de cada perfil. En el período $t = 1$ se generan 2 decisiones de inversión d_1 y d_2 . En el período $t = 3$ vuelve haber un presupuesto disponible, un evento que marca la continuación de la red. Se mantiene el mismo estado 1 ya que no ha aumentado la cantidad de perfiles formados, y se generan dos decisiones de inversión d_3 y d_4 para el camino de la decisión d_1 y dos decisiones d_5 y d_6 para el camino de la decisión d_2 .



El nodo final de la red es alcanzar total de la demanda de cada perfil, al cual se llega con una inversión de \$0 (nunca se invirtió en estos perfiles) y un ingreso de \$0 (no se espera retribución de ellos).

4.2.2. Método de inducción hacia atrás

Se eligió para resolver la red matricial la técnica de inducción hacia atrás. Los pasos de programación se presentan en el *Algoritmo 5*.

Algoritmo 5: Método de inducción hacia atrás

PARA – Recorrer cada sub-problema (períodos donde ocurre un evento)

SI (*Subproblema* = 2)

Utilidad = 0

Costo = 0

FIN

SI (*Subproblema* > 2)

Si (*presupuesto* = 0 , *hay graduandos*)

Para – Recorrer cada estado

Hallar vector: cantidad de nuevos graduandos de cada perfil.

Para – Recorrer cada perfil

Calcular ingresos

Fin

Fin % Para cada estado

Sino

Para – Recorrer cada estado

Para – Recorrer cada decisión de inversión

Hallar vector: cantidad de nuevos graduandos de cada perfil

Hallar vector: cantidad a formar de cada perfil

Para – Recorrer cada perfil

Calcular ingresos

Calcular costos

Fin

Fin % Recorrer cada decisión de inversión

Fin % Para cada estado

Fin

FIN

FIN % Recorrer cada sub-problema

Como ejemplo de aplicación, se resuelve la red presentada en la *Figura 11*.

En el sub-problema 2 (**Figura 4-9**), dado que es el último año de planeación se asume que se alcanza toda la demanda con una inversión de \$0 (nunca se invirtió en estos perfiles) y un ingreso de \$0 (no se espera retribución de ellos).

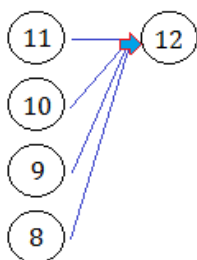


Figura 4-9. Ejemplo: Sub-problema2

En el sub-problema 3 (**Figura 4-10**), se tienen ingresos en los estados 4, 5, 6 y 7 por los graduandos en el siguiente período. En cada caso, se calcula el valor presente (año 0) de la diferencia de los salarios durante el tiempo obligatorio y tiempo de vida vigente para laborar, para aplicar la función objetivo del modelo.

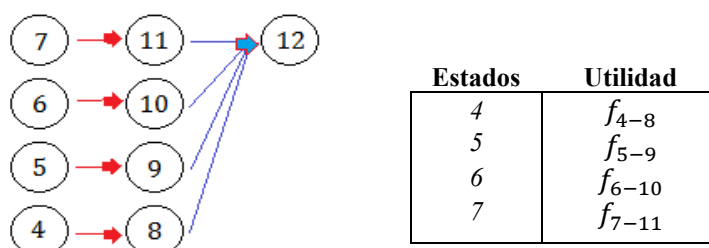


Figura 4-10. Ejemplo: Sub-problema 3

En el sub-problema 4 (**Figura 4-11**), se tienen ingresos en los estados 2 y 3 por los graduandos en el siguiente período. Como en el sub-problema anterior, se calcula el valor presente de los ingresos esperados.

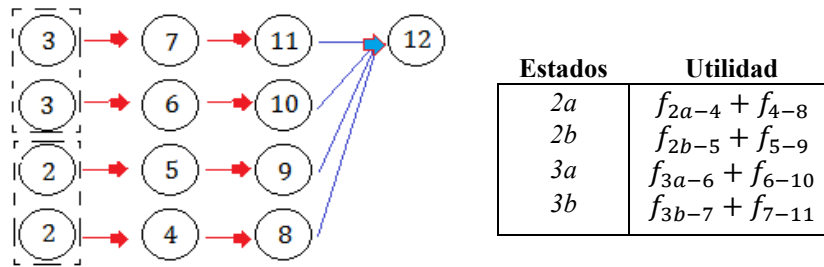


Figura 4-11. Ejemplo: Sub-problema 4

En el sub-problema 5 (**Figura 4-12**), para cada estado se debe elegir la mejor decisión de inversión. Para esto se calcula el valor presente (año 0) de la inversión y el costo de oportunidad por el tiempo que demoraron los perfiles en formación, teniendo en cuenta la extensión de los rezagados. Como en el siguiente período hubo graduados, se suma el valor presente de los ingresos esperados.

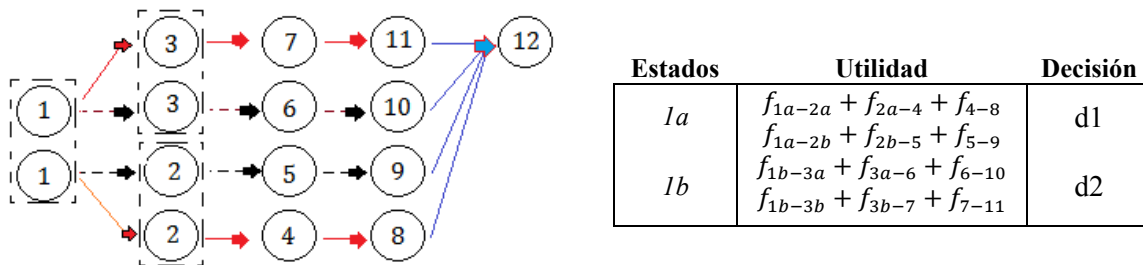


Figura 4-12. Ejemplo: Sub-problema 5

El sub-problema 6 (**Figura 4-13**) es el último en ser evaluado. En el debe elegirse la mejor inversión de dinero, dado unos beneficios acumulados para los caminos que se desprenden desde el estado 1.

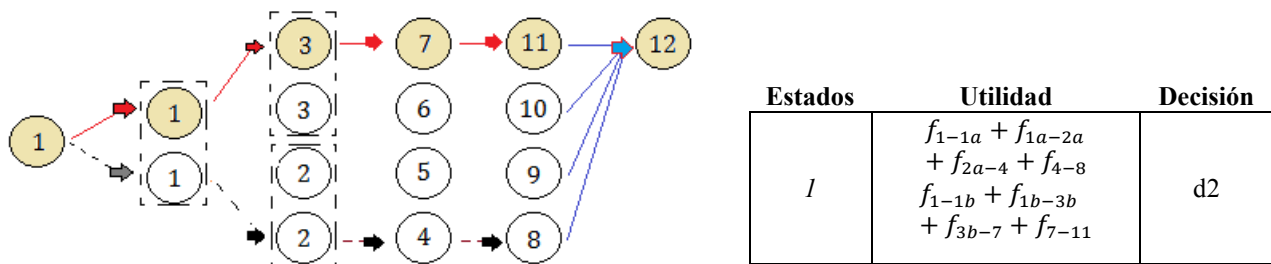


Figura 4-13. Ejemplo: Sub-problema 6

Como se observa en la **Figura 4-13**, desde el punto de origen de la red la mejor decisión es la D_2 . Esto entrega como solución, tomar la decisión 2 en el período 1, y en el período 2 dado que se encuentra en el estado 1b, tomar la decisión 2.

4.3. RESULTADOS DE LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA BAJO INCERTIDUMBRE

Como se puede intuir del modelo dinámico, el valor esperado del retorno de la inversión es dependiente de las decisiones de formación y la incertidumbre del proceso de educación. Este valor permite elegir el mejor camino para un escenario dado, y como es de esperar, es muy sensible ante la mínima variación de algún parámetro.

Dada una secuencia de decisiones de inversión halladas mediante un algoritmo genético, y generadas aleatoriamente unas condiciones externas de acuerdo a las probabilidades de ocurrencia señaladas, se calcula la función de retorno para elegir el mejor camino del escenario evaluado.

Una solución corresponde a una *política de decisión*. Entrega la cantidad de personas a formar de cada perfil en los períodos con presupuesto disponible. Todas las soluciones de un mismo período están sometidas a escenarios estadísticamente iguales (se dan con las mismas reglas y conjunto de parámetros; no es global por la calibración de parámetros debido a que la demanda es diferente por período) e independientes (con número aleatorios diferentes).

La generación de estos datos tiene unas preferencias: la utilización máxima del presupuesto y equilibrar la demanda cumplida de todos los perfiles. Pero debido al incremento de las posibles combinaciones, se obtienen mediante una heurística que *no garantiza el óptimo*.

El método de solución propuesto sugiere medir y analizar la calidad de las soluciones encontradas en las diferentes corridas. El término *calidad de la solución* se refiere al cumplimiento de los objetivos fijados en su generación.

Los valores de las funciones objetivo de las decisiones de cada período se normalizan en una misma métrica, para saber qué tan buena es una decisión con respecto al espacio explorado. Se toma el método de normalización propuesto por Ebrahimi, Ghomi, y Karimi (2014) para funciones objetivos con diferentes unidades. Sea $G(x)_1$ la función de importancia acumulada y $G(x)_2$ la función de presupuesto restante. En las **Ecuaciones 12 y 13** se muestran los cálculos de normalización. Ambas ecuaciones se aplican por período, para todas las decisiones encontradas en las corridas.

$$f_1(x) = \frac{G(x)_1 - \min[G(x)_1]}{\max[G(x)_1] - \min[G(x)_1]} \quad (12)$$

$$f_2(x) = \frac{G(x)_2 - \min[G(x)_2]}{\max[G(x)_2] - \min[G(x)_2]} \quad (13)$$

Luego se calcula un *índice de calidad global* por solución que cuantifique la política de decisión que cada corrida sugiere. Esta comprende la ponderación de las distancias euclidianas de las soluciones con respecto a un punto de referencia (0,0), ya que no se conoce una respuesta óptima para comparación. El peso de ponderación podría ser equitativo, o tener un valor distinto por preferencia del usuario.

En la **Ecuación 14** se presenta el cálculo de la distancia D_i para cada decisión i , y en la **Ecuación 15** se presenta la fórmula para hallar el Índice de calidad IC_j de todas las decisiones i de una misma solución j con sus respectivos valores de ponderación P_i^o . Mayores índices revelan una mejor calidad de la política.

$$D_i = \sqrt{f_{1i}^2 + (1 - f_{2i})^2} \quad (14)$$

$$IC_j = \sum_{i=1}^n D_i * P_i^o \quad (15)$$

Luego de elegir las mejores soluciones, se realiza un análisis de la vecindad de la cantidad de cada perfil por período. El objetivo es encontrar un intervalo de confianza que indique entre qué valores se puede definir la política de inversión por perfil para cada período. Finalmente, se utiliza un método exacto para elegir la combinación que minimice el costo de la inversión y cumpla la restricción de capital disponible, donde las cantidades varían entre los límites superior e inferior del intervalo hallado.

La metodología se detalla en el siguiente capítulo inciso 5.2.3.1., en la aplicación del caso de estudio.

5. CASO DE ESTUDIO

Se presenta un caso de estudio de la aplicación del modelo de inversión propuesto en el departamento del Magdalena con base en los proyectos identificados en el sector logístico y de puertos bajo el Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014. Previamente se describe y aplica la metodología propuesta para la identificación de la demanda profesional de alto nivel basada en proyectos referentes que demuestran buenos resultados en su ejecución.

El modelo piloto tiene como objetivo mostrar el funcionamiento y los resultados de la herramienta diseñada, y presentar una comparación con el método actual utilizado por Colciencias para financiar la educación en Colombia.

5.1. PROCEDIMIENTO ACTUAL UTILIZADO POR EL GOBIERNO

En Colombia, *Colciencias* es “el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI) que depende de la Presidencia de la República y lidera el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. La entidad enfoca sus esfuerzos en 4 grandes áreas de trabajo: educación para la investigación, investigación, innovación, mentalidad y cultura científica” (Colciencias)

En el área de educación, se apoya la formación de investigadores colombianos a través de la financiación de estudios de maestría y doctorado que se se otorga mediante la figura de crédito condonable. El desarrollo científico, tecnológico y la innovación son ejes fundamentales del desarrollo social y productivo del país.

El Acto Legislativo 05 de 2011 y la Ley 1530 de 2012, crearon y reglamentaron el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación, dirigido a fomentar programas o proyectos regionales. Por mandato constitucional se le asigna el 10% de los ingresos del Sistema General de Regalías. Colciencias ejerce la Secretaría Técnica del Órgano Colegiado de Administración y Decisión (OCAD), por tanto verifica el cumplimiento de los requisitos y evalúa técnicamente los proyectos que serán recomendados para su viabilidad.

Por consiguiente, las convocatorias enfocadas a la formación de colombianos pueden ser financiadas con recursos del Presupuesto General de la Nación y del Sistema General de Regalías, según sea acordado.

Como marco de referencia, se presenta la estrategia de distribución de recursos en la convocatoria de formación de capital humano ejecutado en el departamento del Magdalena en el año 2014.

5.1.1. Convocatoria formación para el departamento del Magdalena 2014

Colciencias y el departamento del Magdalena con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías (FCTeI-SGR) financiaron esta convocatoria con el propósito de formar profesionales altamente calificados a nivel de doctorados, maestrías e investigadores, con capacidad para contribuir al mejoramiento de los procesos de gestión del desarrollo regional.

Se identificaron unas áreas priorizadas de acuerdo con las apuestas productivas del departamento. Las áreas se definieron con base en los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, el Plan Departamental de Desarrollo, el Plan de Competitividad y el plan estratégico de CT+I (*Tabla 5-1*).

Tabla 5-1. Áreas estratégicas para fortalecer con la convocatoria del Magdalena 2014

Áreas estratégicas
<ol style="list-style-type: none">1. Agroindustria y producción agropecuaria.2. Gestión del desarrollo y de los recursos naturales.3. Protección de ambiente, recursos hídricos y cambio climático.4. Biodiversidad y biotecnología.5. Acuicultura y pesca marina y continental.6. Planificación y gestión del turismo.7. Saneamiento básico.8. Ciencias de la salud.9. Energías alternativas.10. Tecnologías de información y comunicaciones.11. Ingenierías y administración de logística y transporte.12. Políticas públicas y desarrollo económico y social.13. Ciencias básicas.14. Ciencias de la educación y del deporte.15. Historia, Cultura, Humanidades y Patrimonio.

Tomado de: Colciencias.gov.co

Los interesados debían presentar una propuesta de investigación adscrita a alguna de las áreas estratégicas de la **Tabla 5-1**. La evaluación de cada candidato se realizó con base en la rúbrica de la **Tabla 5-2**.

Tabla 5-2. Criterios de evaluación de la convocatoria del Magdalena 2014

Criterio	Puntaje máximo
Promedio académico	30
Trayectoria académica e investigativa	20
Evaluación de la propuesta de investigación	40
Valoración de premios y reconocimientos	10
Total	100

Tomado de: Colciencias.gov.co

El presupuesto disponible fue de 17.315'860.490 de pesos, y en cada modalidad se definió los rubros a financiar. Antes de ejecutar la convocatoria, se estableció una distribución por cupos en cada área estratégica y componente de formación, en la proporción presentada en la **Tabla 5-3**.

Tabla 5-3. Proporción indicativa de cupos de la convocatoria del Magdalena 2014

Línea de investigación	Joven investigador	Joven ingeniero	Maestría	Doctorado
1. Agroindustria y producción agropecuaria.	10	4	12	4
2. Gestión del desarrollo y de los recursos naturales.	4		4	
3. Protección de ambiente, recursos hídricos y cambio climático	4		3	
4. Biodiversidad y biotecnología	8		7	2
5. Acuicultura y pesca marina y continental	10	3	7	3
6. Planificación y gestión del turismo	10		11	3
7. Saneamiento básico	4		2	
8. Ciencias de la salud	4		2	
9. Energías alternativas	4		3	
10. Tecnologías de información y comunicaciones	4		3	
11. Ingenierías y administración de logística y transporte	10	3	12	4
12. Políticas públicas y desarrollo económico y social.	4		4	1
13. Ciencias básicas.	6		4	1
14. Ciencias de la educación y del deporte.	4		3	1
15. Historia, Cultura, Humanidades y Patrimonio.	4		3	1
Total	90	10	80	20

Tomado de: Colciencias.gov.co

Una vez se evaluaron los candidatos a la convocatoria (según **Tabla 5-2**), se organizaron los puntajes en orden descendente. Este listado fue la pauta para llenar los cupos de todas las áreas estratégicas. En los casos donde sobraron cupos en algunos componentes, se

procedió asignar en otros componentes de acuerdo a la puntuación obtenida, hasta agotar todo el presupuesto disponible. En la **Tabla 5-4** se muestra la cantidad financiada.

Tabla 5-4. Cantidad financiada por la convocatoria del Magdalena 2014

Línea de investigación	Joven investigador	Joven ingeniero*	Maestría	Doctorado
1. Agroindustria y producción agropecuaria.	0	-	9	5
2. Gestión del desarrollo y de los recursos naturales.	1		4	0
3. Protección de ambiente, recursos hídricos y cambio climático	3		4	0
4. Biodiversidad y biotecnología	0		4	2
5. Acuicultura y pesca marina y continental	4	-	4	0
6. Planificación y gestión del turismo	2		11	3
7. Saneamiento básico	0		2	0
8. Ciencias de la salud	3		2	0
9. Energías alternativas	0		2	0
10. Tecnologías de información y comunicaciones	1		7	0
11. Ingenierías y administración de logística y transporte	1	-	12	4
12. Políticas públicas y desarrollo económico y social.	2		11	3
13. Ciencias básicas.	2		4	1
14. Ciencias de la educación y del deporte.	4		3	1
15. Historia, Cultura, Humanidades y Patrimonio.	0		3	1
Total	23	0	82	20

**Ningún candidato cumplió los requisitos mínimos*

Tomado de: Colciencias.gov.co

Las planeación es un punto de referencia para la asignación de las becas. Al momento de elegir los beneficiarios, las diferencias de costos entre lo estimado y lo real, así como el volumen de personas interesadas en la financiación de sus estudios, modifican la proporción de los cupos utilizados.

5.2. APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE INVERSIÓN

Como se describió en el inciso 5.1, las convocatorias patrocinan la educación de alto nivel en aquellas áreas en las cuales el Gobierno ha destinado recursos para su fortalecimiento.

Esta investigación explora más allá de los lineamientos de la planeación nacional y regional. Se propone evaluar el resultado de los proyectos de inversión en la región, para estimar la formación profesional competente que posiblemente se requiera para liderar las actividades productivas una vez finalicen las obras de construcción o mejoramiento.

Con esta estimación, es prudente planear anticipadamente la formación de capital humano para los períodos en que se requieran. La finalización de los proyectos de inversión son puntos de referencia para la demanda profesional. Así que esta investigación también entrega un modelo de planeación dinámica, para asignar recursos públicos destinados a educación, en los perfiles anteriormente identificados.

Los entes responsables de distribuir los recursos públicos no afirman tener un método formal para determinar la proporción de becas en cada área estratégica. En el ejemplo presentado, la Gobernación del Magdalena definió las cantidades según el criterio de las personas encargadas. Por lo tanto, se propone una herramienta matemática que entregue buenas decisiones teniendo en cuenta los factores adscritos al proceso de formación.

5.2.1. Inversiones en el sector logístico en el departamento del Magdalena

Según la Regionalización Plan Plurianual de Inversiones 2011-2014, el 36% de los recursos se destinaron al pilar de Crecimiento sostenible y competitividad (*Figura 5-1*). (Departamento Nacional de Planeación, 2010)

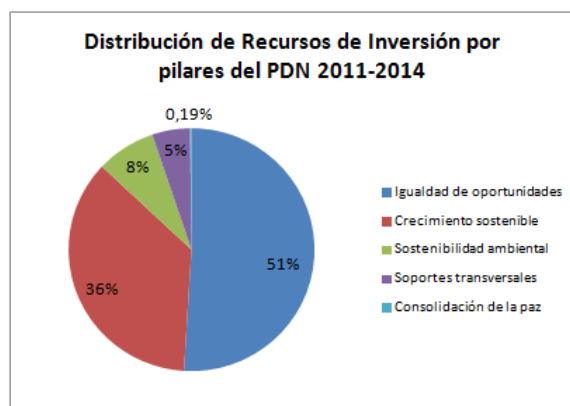


Figura 5-1. Distribución de recursos del PDN en el departamento del Magdalena

Tomado de: www.dnp.gov.co

El 78% de los recursos del Estado destinados a las locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo, se asignaron en el Sector Transporte con programas de infraestructura vial, fluvial, portuaria y aeroportuaria (*Tabla 5-5*) (Departamento Nacional de Planeación, 2010).

Tabla 5-5. Pilares, objetivos, sectores y principales programas según fuente de financiación

Pilar / Objetivo / Sector / Programa	Central	Privado	Total 2011-2014
Crecimiento sostenible y competitividad	1.006.744	2.590.505	3.763.101
Locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo	905.145	2.208.390	3.279.387
AGRICULTURA	147.293	276.000	423.293
TRANSPORTE	708.963	693.087	1.402.050
Corredores viales	538.933	90.427	629.359
Infraestructura portuaria y actividad marítima	-	498.561	498.561
SETP – Santa Marta	131.939	87.025	218.964
Infraestructura aeroportuaria y gestión de espacio aéreo	15.772	17.074	32.846
Corredores fluviales	22.307	-	22.307
Fortalecimiento institucional y buen gobierno	12	-	12

Tomado de: www.dnp.gov.co

El Plan Nacional de Desarrollo incluyó la locomotora de infraestructura como un motor de crecimiento de la economía nacional. El mejoramiento de la infraestructura física es una estrategia de fortalecimiento de la competitividad nacional, a través de la consolidación de corredores que conecten los principales centros de producción y consumo con los puertos marítimos y zonas fronterizas (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2014).

De los principales proyectos de inversión en vías contenidos en el PND 2011-2014 (*Tabla 5-6*), están en ejecución o sin iniciar la Concesión Ruta del Sol 3, Concesión Transversal de las Américas, Vía de La Prosperidad, Red férrea Palermo – Ciénaga y doble calzada Ciénaga – Barranquilla.

Tabla 5-6. Principales proyectos de inversión en vías en el Magdalena

Principales proyectos de inversión Magdalena
Transporte y vías
Sistema Estratégico Transporte Público – Santa Marta Concesión Santa Marta – Rioacha – Paraguachón Concesión Ruta del Sol 3 Concesión Transversal de las Américas 1 Vía Plato – Palermo Vía El Banco – Arjona – Cuatro Vientos – Codazzi Red Férrea Ciénaga – Palermo Doble Calzada Barranquilla – Y de Ciénaga Doble Calzada Santa Marta – Riohacha

Tomado de: www.dnp.gov.co

En el presupuesto de inversión regionalizado, se especifican las inversiones en infraestructura aeroportuaria y portuaria (Departamento Nacional de Planeación, 2014). A comienzos del 2015, se firmaron actas de inicio para la ejecución de las obras de ampliación y modernización de la terminal aérea Simón Bolívar. La Sociedad Portuaria de Santa Marta tiene en estudio un proyecto de modernización de las instalaciones.

Con base en las inversiones que se tienen en el departamento, se eligen 4 proyectos claves: infraestructura y gestión aeroportuaria, infraestructura y actividad marítima, corredor fluvial y corredor vial.

5.2.2. Identificación de la demanda: metodología de buenas prácticas

Para comprender esta metodología resulta fundamental recordar una vez más el concepto de perfil profesional: *áreas de conocimiento especializado requeridas en las actividades que se ejecutarán en el sector en crecimiento. Por ejemplo, para el sector de logística se podrían requerir personas especializadas en temas de telecomunicaciones, finanzas, administración estratégica.*

Las etapas de esta metodología son las siguientes:

1. CARACTERIZAR LOS PROYECTOS DEL DEPARTAMENTO

El primer paso consiste en describir los antecedentes del proyecto, objetivos y beneficios para el departamento, alcance de las obras y determinar una fecha aproximada de finalización de las obras. Esto con el fin de conocer el alcance de la inversión en el departamento.

Para el caso de estudio, se caracterizan los 4 proyectos elegidos:

PROYECTO 1. Remodelación del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar.

Estado actual: En operación.

Antecedentes: Fortalecer los principales nodos sobre los que confluyen flujos comerciales con alto impacto sobre el comercio exterior y, la distribución interna de mercancías (DNP, 2011).

Objetivos: Mejorar la seguridad operacional de los usuarios del Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta (Aeronáutica Civil de Colombia, 2014). Despegar la competitividad e incentivar el turismo nacional e internacional en esta zona del país (El heraldo, 2015).

Alcance de las obras: Adecuación de la pista para su certificación internacionalmente. Construcción de parqueaderos, nueva torre de control, ampliación de la plataforma, salas de abordaje, puntos de chequeo, posiciones de contacto y climatización de las instalaciones.

Beneficios:

- Altos índices de conectividad, movilidad y competitividad para este aeropuerto.
- Servicios de navegación aérea y aeroportuarios seguros y eficientes.
- Operaciones aéreas sin contratiempos.
- Optimización de recursos de capacidad operacional.
- Mejoramiento en la presentación del servicio a los pasajeros.
- Aumento del turismo, de las operaciones de carga y del transporte de pasajeros.
- Mejorará la calidad en la prestación del servicio aéreo a la población existente (Aeronáutica Civil de Colombia, 2014).

Fecha de finalización aproximada: 2019.

PROYECTO 2. Plan para restablecer la navegabilidad del río Magdalena (Consejo Nacional de Política Económica y Social , 2013).

Estado actual: En operación.

Antecedentes. Promover el desarrollo de modos alternativos de transporte con miras a fortalecer un esquema de transporte intermodal.

Objetivos: Mejorar la navegabilidad del río, ampliar la cobertura del Sistema de Asistencia Satelital para una navegación segura y continua durante 24 horas, consolidar oferta de infraestructura logística y mitigar impactos ambientales.

Alcance de las obras: Dragado y mantenimiento.

Beneficios:

- Ahorro en costos de transporte y flete.

- Ahorro en emisión de gases de efecto invernadero.
- Empleo y productividad para el sector industrial y agrícola.
- Desarrollo económico de los municipios ribereños.

Fecha de finalización aproximada: 2022.

El departamento del Magdalena es una región fértil con una producción competitiva y grandes posibilidades de desarrollo agroindustrial. La economía del departamento del Magdalena reposa en su mayoría en las actividades de agricultura, ganadería, pesca y silvicultura (Departamento Nacional de Planeación, 2007). Los productos que principalmente se cultivan son el banano, palma de aceite, tabaco, frutales, arroz y algodón.

Actualmente, la economía de los municipios del departamento es en su mayoría local o regional, por factores limitantes como deficiencia en vías, baja tecnificación de la producción, desbordamiento del Río Magdalena. Los productos de exportación se comercializan por la Sociedad Portuaria de Santa Marta. Este es el caso del banano, producto con tradición exportadora para este departamento, del cual se venden cerca de 24 mil contenedores por año.

El proyecto de la Vía de la Prosperidad promete facilitar el transporte de productos de los campesinos de la zona y ser una estrategia para controlar las inundaciones del río Magdalena (El heraldo, 2015). Así mismo, el departamento se verá beneficiado por el proyecto de Recuperación de la Navegabilidad del Río Magdalena, que bordea todo su límite izquierdo.

Cuenta con varias cabeceras municipales situadas a orillas del río Magdalena, pero de ellos solamente El Banco tiene muelle fluvial y los demás apenas hacen el tráfico de lanchas a motor y pequeñas embarcaciones. (Gobernación del Magdalena, 2012)

Dada esta posición privilegiada y los nuevos proyectos, se podría pensar en un clúster agroindustrial que permita a los productores comercializar sus productos hacia el interior del país por modo fluvial, un transporte limpio y de bajo costo para largas distancias. Esto

pondría en marcha el proyecto de construcción y acondicionamiento de un puerto fluvial que cumpla las condiciones necesarias para su operación.

Existe una Concesión Portuaria ubicada en el municipio de Salamina, con autorización para transportar carga general, gránulos sólidos y líquidos (Cormagdalena). Esta sede podría ser el lugar propicio para el futuro proyecto, que para efectos de la investigación se estima para el año 2023.

PROYECTO 3. Modernización del Puerto de Santa Marta.

Estado actual: En estudio.

Antecedentes: Fortalecer los principales nodos sobre los que confluyen flujos comerciales con alto impacto sobre el comercio exterior y, la distribución interna de mercancías (DNP, 2011).

Objetivos: Ampliación de la infraestructura portuaria para ofrecer un servicio de transporte multimodal que facilite la logística para el comercio internacional, en armonía con el desarrollo y renovación urbana de la ciudad.

Alcance de las obras: Completar la conexión férrea al interior del puerto, expandir las zonas de almacenamiento, actualización tecnológica de las operaciones.

Beneficios:

- Mejoramiento de los servicios a los usuarios.
- Mejoramiento del rendimiento operacional.
- Incremento de la capacidad de carga.

Fecha de finalización aproximada: 2024

PROYECTO 4. Concesión doble calzada Y de Ciénaga – Barranquilla.

Estado actual: En estudios.

Antecedentes. Mejorar la infraestructura física de transporte como factor para promover la competitividad del país y potenciar los beneficios de los acuerdos comerciales suscritos y los que se suscriban por el Gobierno Nacional (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2006).

Objetivos: Agilizar el transporte de carga y pasajeros, disminuyendo los índices de accidentabilidad y el tiempo de viaje.

Alcance de las obras: Construir una vía sostenible de doble calzada desde la Y de Ciénaga hasta el puente Laureano Pumarejo. Solucionar el problema ambiental de la Ciénaga Grande ocasionado con la construcción de la actual carretera.

Beneficios:

- Mejorar la movilidad del tráfico.
- Disminuir los accidentes en la zona.
- Favorecer la conexión con el interior del país (El tiempo, 2015).

Fecha de finalización aproximada: 2022.

2. CARACTERIZAR REFERENTES

Consiste en elegir empresas a nivel nacional o internacional similares al escenario resultante de la inversión, de igual o mayor envergadura, que demuestren buenos resultados en la ejecución de sus actividades de operación. A criterio del evaluador está la cantidad de referentes que elija. Para facilitar su elección, se definen las siguientes características para comparar y corroborar las similitudes:

- Tamaño de la operación: variables que definen la demanda del sistema. Por ejemplo: tráfico de pasajeros, volumen de carga.
- Especificaciones técnicas de las instalaciones: variables que describen el tamaño y características de las instalaciones, esto incluye las condiciones de operación y limitaciones del sistema. Por ejemplo: ancho de vía, longitud de pista.
- Operaciones realizadas: muestra el nivel de especialización de la organización, y las actividades/servicios que se desarrollan. Por ejemplo: almacenamiento de carga, asistencia médica.

El proyecto de remodelación del Aeropuerto Simón Bolívar, se compara con los aeropuertos de la ciudad de Barranquilla y el municipio de Ríonegro como se muestra en la **Tabla A2-1** (Anexo 2). No se tienen cifras exactas del volumen de pasajeros y carga que se espera transportar, pero se prevé que el incremento de la demanda del servicio y

mejoramiento de los servicios actualmente ofrecidos, requiera personal más especializado en las distintas áreas del futuro aeródromo.

El segundo proyecto en estudio se compara con dos referentes internacionales: Puerto Fénix en Paraguay y la Terminar Puerto Rosario en Argentina, los cuales se ubican en la hidrovía Paraná-Paraguay (**Tabla A2-2**). En Colombia no existen concesiones fluviales que cumplan con las mínimas normas exigidas para entrar en funcionamiento (DNP, 2013). Las condiciones de operación de un posible puerto en el departamento del Magdalena se estiman según la actual oferta productiva de la región.

La estimación de capital humano luego de la modernización del Puerto de Santa Marta, se realiza con dos referentes a nivel nacional: Sociedad Portuaria de Buenaventura, el terminal marítimo más importante del país, y la Sociedad Portuaria de Barranquilla, puerto multipropósito más grande del Caribe. Se realiza la comparación con un referente internacional: Puerto de Manzanillo, con certificaciones en gestión de calidad, gestión ambiental y reconocimiento de puerto limpio. La información se presenta en la **Tabla A2-3**.

ISA a través de sus empresas filiales estructura, diseña, construye, opera y mantiene infraestructura vial, siendo en Chile el mayor operador de vías interurbanas. Este país es reconocido por ser líder en este modelo de administración vial. Así que se toman como referentes para el proyecto de doble calzada dos de sus concesiones viales: Ruta del Maipo y Autopista del Sol (**Tabla A2-4**).

3. ESTIMAR PERFILES PROFESIONALES

Consiste en comparar las estructuras organizacionales de todas las empresas referentes e identificar una *estructura tipo*, es decir, aquellas áreas que son comunes en todos los proyectos evaluados, y por ende muy seguramente estarán presentes en el nuevo proyecto.

La estrategia de estimación comprende la recopilación de organigramas y mapas de procesos de las empresas elegidas. En este punto resulta importante contar al menos con un

manual de funciones para cada tipo de proyecto, que amplíe información sobre las actividades que se realizan al interior de la organización, niveles y funciones en cada área.

Luego, se realiza la comparación de los organigramas y la identificación de las áreas comunes entre estos. Es muy importante el juicio del investigador para definir los niveles decisorios y las competencias idóneas en estos. Se propone la siguiente estructura funcional de alta dirección y gestión:

- *Nivel decisorio superior o estratégico:* se elaboran las políticas y estrategias de la organización.
- *Nivel decisorio intermedio o táctico:* se coordinan las actividades que se desarrollan en el nivel operativo, y se toman las decisiones que afectan a un área o departamento específico.
- *Nivel decisorio operativo:* se plantea como debe realizarse la actividad o servicio a nivel operativo.

En las **Figuras A3-1 y A3-2** (Anexo 3) se muestran los organigramas de los aeropuertos elegidos como referentes. En la **Tabla A3-1** se presenta la estructura sugerida por el evaluador luego de efectuar la comparación y análisis de las áreas comunes identificadas. Es importante destacar que para la redacción de funciones en la estructura sugerida de todos los proyectos se utilizaron los verbos apropiados para cada nivel decisorio (**Anexo 4**).

En las **Figuras A3-3, A3-4 y A3-5** se muestran los organigramas de los terminales portuarios marítimos, y en la **Tabla A3-2** se presenta la estructura considerada para la administración del Puerto de Santa Marta. En las **Figuras A3-6 y A3-7** se muestra información sobre las concesiones viales de Chile y en la **Tabla A3-3** el resultado de su evaluación para la administración competente de la doble calzada Y de Ciénaga – Barranquilla. Para el proyecto de recuperación del Río Magdalena y por consiguiente el posible aprovechamiento de este beneficio con la instalación de una concesión portuaria fluvial, la información está consignada en las **Figuras A3-8 y A3-9** y la **Tabla A3-4**.

4. ELEGIR PROFESIONALES A FORMAR

Consiste en evaluar la actual oferta regional de los perfiles previamente identificados y seleccionar aquellos que para criterio del evaluador (puesto que no se traza una métrica específica) tienen una presencia baja en el mercado laboral. Para esto se debe recopilar estadísticas sobre el volumen de graduandos de programas de formación de alto nivel (especialización, maestrías y doctorado) en el departamento en los últimos años. El análisis no abarca proyecciones futuras sobre la educación en el departamento y va enfocado a fortalecer la educación en investigación de los habitantes de la región.

Tanto para los proyectos de mejoramiento o de nueva construcción, el objetivo es asegurar que los perfiles competentes para su administración estén disponibles en el mercado laboral de la región, independiente de que estén o no personas competente en los cargos actuales, procurando a su vez que sean los mismos habitantes del departamento quienes accedan a estas oportunidades de trabajo.

En el Observatorio Laboral para la Educación del Sistema Nacional de Información de la Educación Superior SNIES se publica el seguimiento a los graduados en el país. Esta información carece de filtros que clasifique los egresados según el lugar de nacimiento o su ubicación actual, así que se toma en su totalidad sin hacer estas diferenciaciones.

Para efectos del presente caso piloto, se excluyen aquellas personas que estudian por fuera del departamento, y aquellas que regresan después de finalizar su formación. Se realiza el estudio sólo con los graduandos de universidades locales.

Con base a estas estadísticas (**Anexo 5**) disponibles hasta el 2014 se evaluó la oferta laboral de los perfiles identificados en la etapa anterior durante los últimos 6 años. Se asume que los graduandos durante este tiempo, están disponibles en el mercado para ser contratados. La información se publica por programas académicos, así que es necesario relacionar el conocimiento impartido en cada programa académico con las áreas de conocimiento evaluadas.

El criterio del evaluador en el presente estudio de caso, fue analizar si la tendencia de graduandos a lo largo de los últimos 6 años era constante con pequeñas fluctuaciones o se incrementaba, ya que indica que las personas se sienten atraídas a tomar estos programas académicos. En complemento se analizó si la cantidad acumulada se consideraba apta para el limitado desarrollo del departamento. En caso de que no fuera así, se consideraba un perfil escaso.

En las *Tablas 5-7, 5-8, 5-9 y 5-10* se muestran la selección de los perfiles a formar.

Tabla 5-7. Perfiles a formar – Proyecto remodelación Aeropuerto Simón Bolívar

Proyecto: Aeropuerto → Año 2019		
Perfil profesional	Área	Seleccionados
Alta gerencia/planeamiento estratégico	Alta administración	
Dirección comercial	Comercial	
Mercadeo estratégico	Mercadeo	
Comercio	Mercadeo	
Gerencia logística	Logística	
Logística aeroportuaria	Log. Aeropuerto	x
Telecomunicaciones	Telecomunicaciones	x
Seguridad aeroportuaria/industrial	Seguridad industrial	x
Gerencia técnica	Logística	
Estructuras	Estructura	x
Administración estratégica	Administración	x
Gestión humana	RRHH	
Administración financiera	Finanzas	
Sistemas informáticos	Informática	x

Tabla 5-8. Perfiles a formar – Proyecto concesión fluvial en el Río Magdalena

Proyecto: Puerto fluvial → Año 2023		
Perfil profesional	Área	Seleccionados
Alta gerencia/planeamiento estratégico	Alta administración	
Derecho comercial	Derecho comercial	x
Dirección comercial	Comercial	
Mercadeo estratégico	Comercial	
Gerencia logística	Logística	
Logística portuaria	Log. Puerto	x
Seguridad aeroportuaria/industrial	Seguridad industrial	x
Gestión ambiental	Ambiental	

Administración estratégica	Administración	x
Logística	Logística	
Sistemas informáticos	Informática	x
Dirección estratégica de RRHH	Recursos humanos	
Administración financiera	Finanzas	
Gestión financiera	Finanzas	

Tabla 5-9. Perfiles a formar – Proyecto modernización Puerto de Santa Marta

Proyecto: Puerto marítimo → Año 2024		
Perfil profesional	Área	Seleccionados
Alta gerencia/planeamiento estratégico	Alta administración	
Dirección comercial	Comercial	
Mercadeo estratégico	Comercial	
Gerencia logística	Logística	
Logística portuaria	Log. Puerto	x
Seguridad aeroportuaria/industrial	Seguridad industrial	x
Gestión ambiental	Ambiental	
Infraestructura portuaria	Estructura	x
Estructuras	Estructura	x
Diseño de proyectos	Proyectos	
Administración estratégica	Administración	x
Administración financiera	Finanzas	
Logística	Logística	
Dirección estratégica de RRHH	RRHH	
Gestión humana	RRHH	
Desarrollo de personal	RRHH	
Derecho comercial y marítimo	Derecho comercial	x
Gerencia informática	Informática	x
Sistemas informáticos	Informática	x

Tabla 5-10. Perfiles a formar – Proyecto doble calzada Y de Ciénaga – Barranquilla

Proyecto: Vía → Año 2022		
Perfil profesional	Área	Seleccionados
Alta gerencia/planeamiento estratégico	Alta administración	
Infraestructura vial	Vías y pavimentos	x
Mantenimiento vial	Vías y pavimentos	x
Gerencia de proyectos	Proyectos	
Medio Ambiente	Ambiental	
Administración estratégica	Administración	x
Administración financiera	Finanzas	
Dirección estratégica de RRHH	RRHH	

Administración vial	Logística
Administración de operaciones	Logística

Una vez se han definido los perfiles competentes, es necesario determinar la cantidad potencial a patrocinar de cada perfil con la convocatoria, que en el modelo será analizada en conjunto para tomar las mejores decisiones de formación teniendo en cuenta la restricción de presupuesto.

Como es de esperar, el alcance de la convocatoria no asegura la presencia en el mercado de personas especialistas en las diferentes áreas de conocimiento, sino que reparte el dinero disponible para educación, en las áreas de mayor impacto en la región.

En este caso se propone cuantificar las cantidades de acuerdo a un Sistema de clasificación de factores (Melo, Nickelb, & Saldanha-da-Gamad, 2009). La rúbrica de la **Tabla 5-11** se completa según la percepción del evaluador:

Tabla 5-11. Rúbrica para cuantificar demanda por perfil profesional

Área del perfil profesional	Impacto en el proyecto			Importancia según desarrollo regional			Escasez en la oferta identificada			Puntuación	Cantidad
	Valor	Peso	Total	Valor	Peso	Total	Valor	Peso	Total		
<i>Vías y pavimento</i>	70%	35%	25%	50%	35%	18%	100%	30%	30%	72%	29
<i>Administración</i>	50%	35%	18%	50%	35%	18%	100%	30%	30%	65%	26
<i>Log. Puertos - Aeropuerto</i>	90%	35%	32%	100%	35%	35%	100%	30%	30%	97%	39
<i>Seguridad</i>	90%	35%	32%	80%	35%	28%	100%	30%	30%	90%	36
<i>Estructuras</i>	70%	35%	25%	50%	35%	18%	100%	30%	30%	72%	29
<i>Informática</i>	90%	35%	32%	90%	35%	32%	50%	30%	15%	78%	31
<i>Telecomunicaciones</i>	80%	35%	28%	90%	35%	32%	100%	30%	30%	90%	36
<i>Derecho comercial</i>	40%	35%	14%	50%	35%	18%	100%	30%	30%	62%	25

La variable *impacto en el proyecto* se refiere a las repercusiones de las actividades que se ejecutan desde el área sobre la operación de la empresa, *la importancia según desarrollo regional* se define según las actividades productivas representativas de la región y *la escasez en la oferta identificada* se conoce por los resultados consignados en el Anexo 5.

Así mismo, se fija una *cantidad máxima* que limite la inversión en cada perfil. La puntuación obtenida para área se multiplica por la cantidad máxima, para calcular la demanda potencial que entrará al modelo. En el caso de estudio, se fijó una cantidad máxima de 40 personas por área.

5.2.3. Método de optimización

En la **Figura 5-2** se muestra el horizonte de tiempo de planeación de inversión para los proyectos identificados en el sector logístico en el departamento del Magdalena. Se supone presupuesto disponible cada 2 años en los periodos 2017, 2019 y 2021. El escenario se analiza en el año 2016. La aplicación se hará para formación a nivel de maestría.

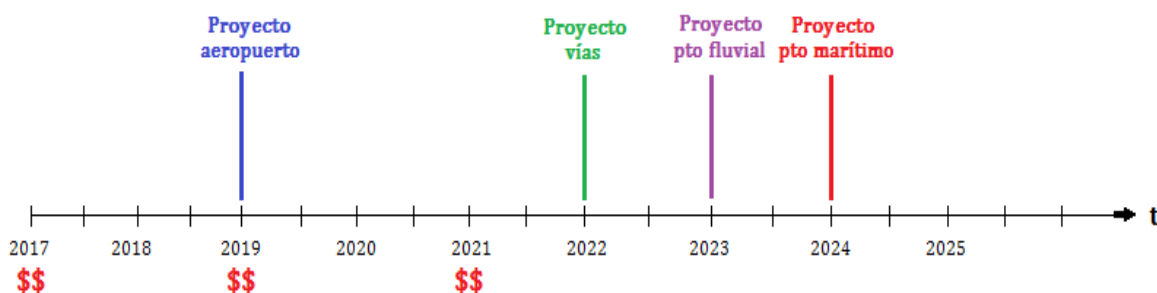


Figura 5-2. Horizonte de tiempo de la inversión del caso de estudio – Departamento del Magdalena

A continuación se presentan los datos del caso de estudio requeridos por el modelo dinámico:

Inflación: Analizando las proyecciones macroeconómicas del país que consideran una inflación aceptable dentro de un margen de un 2,5% y 3,5%, para nuestro caso tomaremos un punto medio del 3% como un valor constante en el tiempo desde el 2020.

Para los años anteriores, se supone una proyección (**Tabla 5-12**) de disminución de la inflación anual. Quizás las nuevas políticas de paz, atraigan la inversión extranjera y se redistribuya el dinero destinado a la fuerza pública en áreas como educación y salud:

Tabla 5-12. Estimación de la inflación 2016-2019

Año	Valor real	Estimación
2012	2,44%	
2013	1,94%	
2014	3,66%	
2015	6,77%	
2016		5,7%
2017		4,5%
2018		3,7%
2019		3,5%

Tiempo de formación: se toma el tiempo más común para estudios en maestrías de 2 años.

Tiempo de rezago: se asume que los estudiantes se extienden usualmente 1 año para finalizar sus estudios, por atrasos en la tesis.

Holgura de factibilidad: se determinan 2 años máximos de variación.

Tiempo de condonación: Se toma de referencia el tiempo establecido en la convocatoria del Magdalena del 2014 presentada en el numeral 5.1.1. Se establece de 1 año.

Tiempo laboral activo: Se suponen graduandos con una edad promedio de 30 años, y edad laboral activa hasta los 65 años. Esto se traduce en 35 años activos.

Nivel de servicio: Para el caso de estudio se fija en 0% la cantidad mínima solicitada de cada perfil en cada período con presupuesto disponible.

Presupuesto: Se toma de referencia el presupuesto de la convocatoria del Magdalena del 2014 presentada en el numeral 5.1.1. Se calcula la proporción destinada para el área de logística y transporte, según los cupos inicialmente establecidos. El 6% de presupuesto total equivale a \$1.038'951.629 de pesos. Este valor se toma para los años 2017, 2019 y 2021. No se hace una proyección porque no se tienen bases sólidas para suponer el valor de las regalías en los próximos años.

Probabilidad de deserción: Existen estadísticas recientes sobre la deserción en Colombia a nivel de posgrados. Sin embargo, se asume que los beneficiarios de una beca-crédito condonable debido a los compromisos que asumen, deberían tener una baja probabilidad de deserción. Por lo tanto, se asume con una probabilidad del 50% la posibilidad de desertar el 5%, con una probabilidad de 30% la posibilidad de desertar el 3% y con una probabilidad de 20% la posibilidad de desertar el 7%.

Probabilidad de rezago: En el contexto de la educación patrocinada con becas entregadas por el Estado no existen suficientes estadísticas. Se asume con una probabilidad del 50% la posibilidad de rezagar el 10%, con una probabilidad del 30% la posibilidad de rezagar el 15% y con una probabilidad del 20% la posibilidad de rezagar el 5%.

Probabilidad de abandono y migración: En el contexto de la educación patrocinada con becas entregadas por el Estado no existen suficientes estadísticas. Se asume una probabilidad de migración para todos los perfiles de 10%, y en la **Tabla 5-13** se muestran las probabilidades de abandono asumidas para todos los perfiles.

Tabla 5-13. Probabilidades de abandono asumidas para todos los perfiles según la holgura de factibilidad

Periodos lejanía	Probabilidad abandono
1	3%
2	5%
3	8%
4	10%
En adelante	100%

En la **Tabla 5-14** se presentan los 8 perfiles identificados. La columna “ingreso anterior” se refiere al salario mensual de profesionales en el área con título de pregrado y la columna “ingreso posterior” se refiere al salario mensual de profesionales en el área con título de maestría. Esta información se obtiene del Observatorio Laboral del Ministerio de Educación que publica el salario promedio por programa académico. En el **Anexo 6** se muestra el análisis de la información recolectada.

Tabla 5-14. Perfiles profesionales: ingresos mensuales y costo semestral en el año 2016

Área del perfil profesional	Ingreso anterior	Ingreso posterior	Diferencia	Costo posgrado
Vías y pavimento	\$2.376.870	\$4.757.299	\$2.380.429	\$10.098.340
Administración	\$2.284.603	\$6.461.346	\$4.176.743	\$24.315.170
Log. Puertos - Aeropuerto	\$2.754.072	\$5.799.380	\$3.045.308	\$10.098.340
Seguridad	\$2.928.852	\$5.799.380	\$2.870.529	\$10.098.340
Estructuras	\$2.376.870	\$5.264.933	\$2.888.063	\$10.098.340
Informática	\$2.322.359	\$5.160.383	\$2.838.024	\$10.098.340
Telecomunicaciones	\$2.666.307	\$4.880.199	\$2.213.892	\$10.098.340
Derecho comercial	\$2.721.537	\$4.992.205	\$2.270.669	\$8.531.070

La columna “costo posgrado” se refiere al costo semestral de estudiar una maestría en el área. Se toma de referencia el valor de matrícula publicado por la Universidad del Norte en el año 2016.

Como se observa en la **Figura 5-3**, la demanda de perfiles del proyecto con finalización estimada en el año 2018 se asigna al presupuesto del año 2016, con variación máxima de 1 año por la finalización de perfiles rezagados en el año 2020. Los perfiles son: Logística de aeropuertos, telecomunicaciones, seguridad industrial, estructura, administración, informática y derecho comercial.

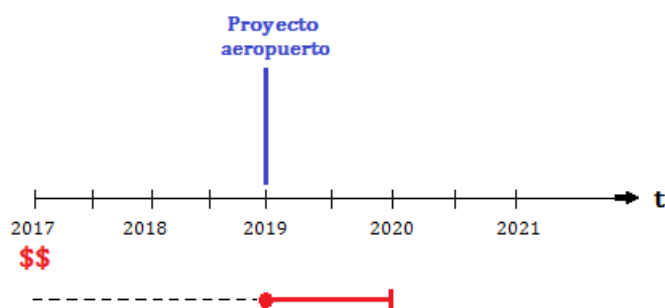


Figura 5-3. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2019

En las **Figuras 5-4 y 5-5** se muestra la asignación de la demanda de los proyectos estimados a finalizar en los años 2022 y 2023 al presupuesto del 2019 y 2021. Para ambos casos, la variación máxima es de 2 años. Los perfiles del proyecto de doble calzada son:

vías y pavimentos, y administración. Los del proyecto de puerto fluvial son: logística de puertos, seguridad industrial, administración, telecomunicaciones y derecho.

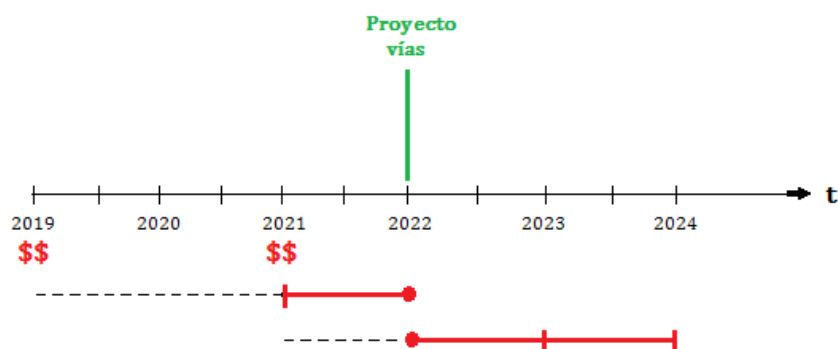


Figura 5-4. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2022

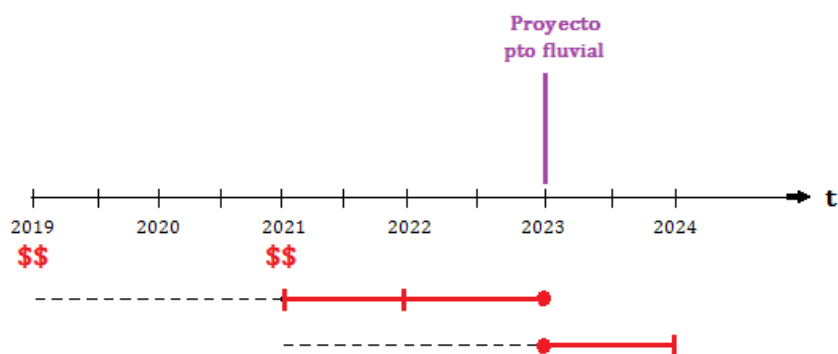


Figura 5-5. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2023

Finalmente en la **Figura 5-6**, se muestra que la demanda del proyecto a terminar aproximadamente en el 2024, se asigna al presupuesto del 2021. La variación máxima es de 1 año antes de finalizar el proyecto. Los perfiles son: Logística de puerto, seguridad industrial, estructura, administración, informática y derecho comercial.

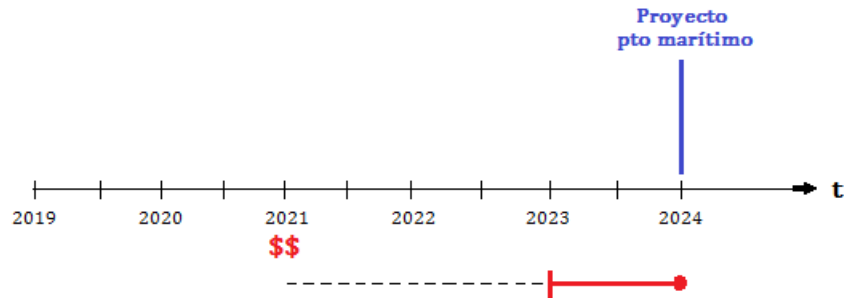


Figura 5-6. Asignación de demanda de perfiles requeridos en el año 2024

5.2.3.1) Calibración del Algoritmo genético

Para la ejecución del algoritmo genético se realiza la calibración de los siguientes 4 parámetros: tamaño de la población, número de generaciones, tasa de cruce y tasa de mutación. Se aplica en los períodos 1, 5 y 9, en los cuales se ejecuta el algoritmo con los valores de demanda del período.

Cada prueba consiste en un diseño de experimento 2^k para mejorar el rendimiento del algoritmo. Los parámetros a calibrar son considerados factores de diseño y sus niveles se muestran en la **Tabla 5-15**.

Tabla 5-15. Niveles de los factores de diseño

	Nivel bajo	Nivel alto
Tamaño de población	10	15
Número de generaciones	10	20
Tasa de cruce	20%	30%
Tasa de mutación	20%	40%

La variable de respuesta es la Distancia Ideal Promedio (*MID según sus siglas en inglés*) del frente de Pareto. Este método permite cuantificar y comparar la calidad de los frentes de Pareto según la distancia euclidiana de cada solución con respecto a un punto de referencia. Se elige la propuesta modificada por Ebrahimi, Ghomi, y Karimi (2014), en la cual los valores de las funciones objetivos se normalizan en una misma métrica ya que están en diferentes unidades.

Sea $G(x)_1$ la función de importancia relativa acumulada y $G(x)_2$ la función de presupuesto restante. Los cálculos para la normalización se muestran en las **Ecuaciones 16 y 17**.

$$f_1(x) = \frac{G(x)_1 - \min[G(x)_1]}{\max[G(x)_1] - \min[G(x)_1]} \quad (16)$$

$$f_2(x) = \frac{G(x)_2 - \min[G(x)_2]}{\max[G(x)_2] - \min[G(x)_2]} \quad (17)$$

Luego se calculan las distancias entre cada solución y el punto de referencia (0,0) elegido ante la ausencia de un set de soluciones óptimas. D_i es la distancia entre la i -ésima solución y el punto de referencia, calculada con los valores normalizados de las funciones objetivo como se muestra en la **Ecuación 18**. Dado que existe un objetivo de maximización y otro de minimización, se toma el complemento $(1 - f_{2i})$, para unificar ambas funciones en maximización. El MID es el promedio de todas las distancias (**Ecuación 19**), donde n es la cantidad de soluciones del frente de Pareto. El mayor valor de MID indica la mejor frontera de Pareto.

$$D_i = \sqrt{f_{1i}^2 + (1 - f_{2i})^2} \quad (18)$$

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (19)$$

Se ejecutó el diseño factorial 2^4 con 2 réplicas, con un total de 32 observaciones. Los experimentos se ejecutaron en un mismo computador con procesador Intel Core i3 de 2,13 GHz.

Prueba 1: período 1

En la **Tabla 5-16** se presenta el orden en que se tomaron los datos y los resultados.

Tabla 5-16. Resultados del diseño factorial 2⁴ – prueba período 1

Orden	Tamaño	Generaciones	Cruces	Mutación	MID
1	10	10	20	40	0,9507
2	10	10	30	20	0,9215
3	10	20	20	40	1,1331
4	15	10	20	20	1,0444
5	15	10	30	20	0,8678
6	15	20	20	20	1,1913
7	10	20	20	20	0,8310
8	10	20	30	40	1,2341
9	10	10	20	20	1,1489
10	15	10	30	40	0,5888
11	15	10	20	40	0,6913
12	15	20	20	40	0,6496
13	10	10	30	40	1,1578
14	15	20	30	20	0,6552
15	10	20	30	20	0,5518
16	15	20	30	40	0,8496
17	10	10	20	40	1,0000
18	10	10	30	20	1,1384
19	10	20	20	40	0,9307
20	15	10	20	20	0,5035
21	15	10	30	20	0,9370
22	15	20	20	20	0,7542
23	10	20	20	20	0,8028
24	10	20	30	40	0,7584
25	10	10	20	20	0,9662
26	15	10	30	40	0,8449
27	15	10	20	40	1,0809
28	15	20	20	40	0,7501
29	10	10	30	40	0,8704
30	15	20	30	20	0,6843
31	10	20	30	20	0,6122
32	15	20	30	40	0,7811

Con el fin de garantizar que las conclusiones del experimento son válidas, se verifican los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de los residuos.

Para el supuesto de normalidad se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, con la hipótesis nula de que los residuos siguen una distribución normal. Con un valor-P de 0.268 no se rechaza el supuesto de normalidad con una confianza del 95%.

En las **Tablas 5-17, 5-18, 5-19 y 5-20** se muestran las pruebas de Barlett aplicadas para verificar la homocedasticidad de los residuos para cada factor. En todos los casos no hay pruebas para rechazar el supuesto.

Tabla 5-17. Test de Barlett. Residuos vs Factor tamaño

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,061	0,188

Tabla 5-18. Test de Barlett. Residuos vs Factor generaciones

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,012	0,555

Tabla 5-19. Test de Barlett. Residuos vs Factor cruces

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,057	0,203

Tabla 5-20. Test de Barlett. Residuos vs Factor tasa mutación

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,000	0,904

Finalmente el supuesto de independencia se verifica con el estadístico de Durbin-Watson. Un valor-P de 0.613 indica que no existe correlación serial en los residuos con un nivel de significancia de 5%.

El análisis de varianza incluyó los efectos principales y todas las interacciones del modelo, con 21 grados de libertad para el error. El ANOVA (**Tabla 5-21**) arrojó que ninguno era significativo.

Tabla 5-21. Análisis de varianza – periodo 1

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>A:Tamaño</i>	0,1423	1	0,1423	3,77	0,0658
<i>B:Generaciones</i>	0,0744	1	0,0744	1,97	0,1751
<i>C:Cruce</i>	0,0297	1	0,0297	0,79	0,3850
<i>D:Mutacion</i>	0,0136	1	0,0136	0,36	0,5541
<i>AB</i>	0,0348	1	0,0348	0,92	0,3474
<i>AC</i>	0,0001	1	0,0001	0,00	0,9554
<i>AD</i>	0,0669	1	0,0669	1,77	0,1973
<i>BC</i>	0,0229	1	0,0229	0,61	0,4445
<i>BD</i>	0,0566	1	0,0566	1,50	0,2341
<i>CD</i>	0,0186	1	0,0186	0,49	0,4898
<i>Error total</i>	0,7931	21	0,0377		
Total	1,25348	31			

En adición, se analizó gráficamente el comportamiento de la variable de respuesta en comparación con los factores. En la **Figura 5-7** se observa que los efectos principales del factor *tamaño* y *generaciones* muestran un efecto representativo en la variable de respuesta cuando se configuran en el nivel bajo.

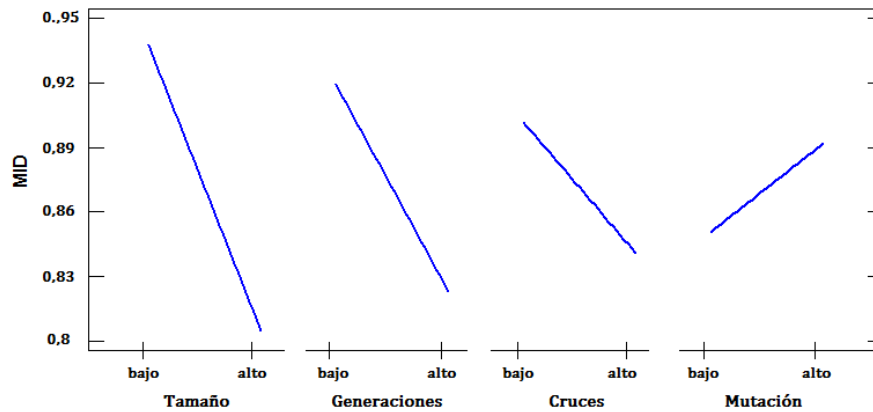


Figura 5-7. Gráfico de efectos principales – Período 1

Tomado de: Statgraphics

En la **Figura 5-8** se muestra que el factor *tasa de cruces* en interacción con los demás factores siempre da un mejor valor de respuesta en su nivel bajo. Con respecto al factor *mutación*, su efecto principal sugiere elegir el nivel alto, y en la misma dirección se observa cuando está en interacción con los demás factores, para los cuales ya se identificaron sus mejores valores. En las relaciones *mutaciones-cruces* y *mutaciones-generaciones*, el factor *mutación* no genera diferencia importante en la variable de respuesta. Sin embargo en interacción con *tamaño* se ve notablemente un mejor valor de respuesta cuando se configura en nivel alto.

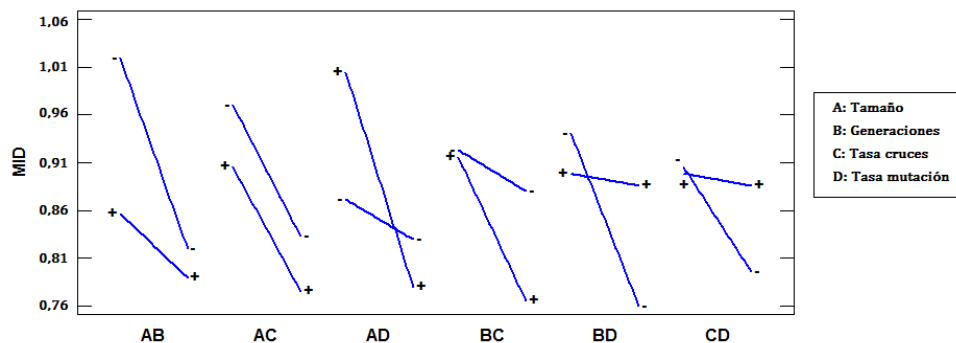


Figura 5-8. Gráfico de interacciones entre factores – Período 1

Tomado de: Statgraphics

Por los argumentos anteriores, se seleccionan los siguientes valores para el período 1:

- Tamaño de población: 10
- Número de generaciones: 10
- Tasa de cruces: 20%
- Tasa de mutación: 40%

Prueba 2: período 5

Los datos del experimento se encuentran consignados en la ***Tabla 5-22***.

Tabla 5-22. Resultados del diseño factorial 2^4 – prueba período 5

Orden	Tamaño	Generaciones	Cruces	Mutación	MID
1	10	10	30	40	1,0000
2	15	10	20	20	1,0612
3	15	20	20	20	1,0846
4	15	10	30	40	1,1195
5	15	20	20	40	1,0269
6	15	20	30	40	1,0550
7	15	10	30	20	0,9199
8	10	20	30	40	1,0000
9	10	10	20	40	1,0359
10	15	20	30	20	0,9188
11	10	20	30	20	0,9668
12	15	10	20	40	1,1027
13	10	10	30	20	1,0252
14	10	20	20	40	0,8391
15	10	10	20	20	1,0000
16	10	20	20	20	0,8937
17	10	10	30	40	1,1083
18	15	10	20	20	0,9646
19	15	20	20	20	1,1100
20	15	10	30	40	1,1013
21	15	20	20	40	0,9993
22	15	20	30	40	1,0232
23	15	10	30	20	1,0157
24	10	20	30	40	1,0430
25	10	10	20	40	1,0151
26	15	20	30	20	1,0770
27	10	20	30	20	0,9236
28	15	10	20	40	0,9555
29	10	10	30	20	0,9640
30	10	20	20	40	1,1005
31	10	10	20	20	0,9027
32	10	20	20	20	0,7632

La prueba de Shapiro-Wilk arrojó un valor-P de 0.299 con el cual no se rechaza la hipótesis de normalidad con un nivel de confianza del 95%. La verificación de varianza mediante la prueba de Barlett con cada factor confirmó el supuesto de homocedasticidad de los

residuos; se obtuvieron con cada factor los valores-P de 0.447, 0.347, 0.195 y 0.447 respectivamente. Finalmente, el estadístico de Durbin-Watson de 1.93 no indicó autocorrelación en los residuos.

El análisis de varianza identificó significativos los factores *Tamaño* y *tasa de mutación* (**Tabla 5-23**).

Tabla 5-23. Análisis de varianza - período 5

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>A:Tamaño</i>	0,0284471	1	0,0284471	4,99	0,0334
<i>D:Mutacion</i>	0,0272786	1	0,0272786	4,78	0,0370
<i>Error total</i>	0,165444	29	0,00570498		
Total	0,22117	31			

En la **Figura 5-9** se observa que la *tasa de mutación* y el *tamaño de población* favorecen la variable de respuesta en su nivel alto. Los demás factores, aunque no significativos, tienen un efecto positivo en la respuesta en el nivel bajo y alto respectivamente.

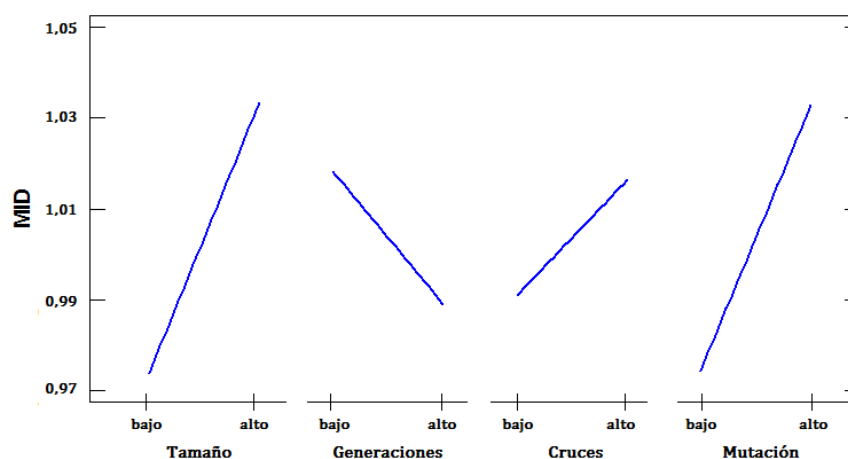


Figura 5-9. Gráfico de efectos principales – Período 5

Tomado de: Statgraphics

Según las interacciones mostradas en la **Figura 5-10**, la elección del nivel de los factores no significativos para un mejor valor de respuesta, tiene una diferencia notable en interacción con el factor *mutación*. Para una tasa de mutación del 40%, se sugiere un nivel

bajo del *número de generaciones* y un nivel alto para la *tasa de cruces*. Así mismo, la interacción de estos (BC) se ve favorecida para los valores elegidos.

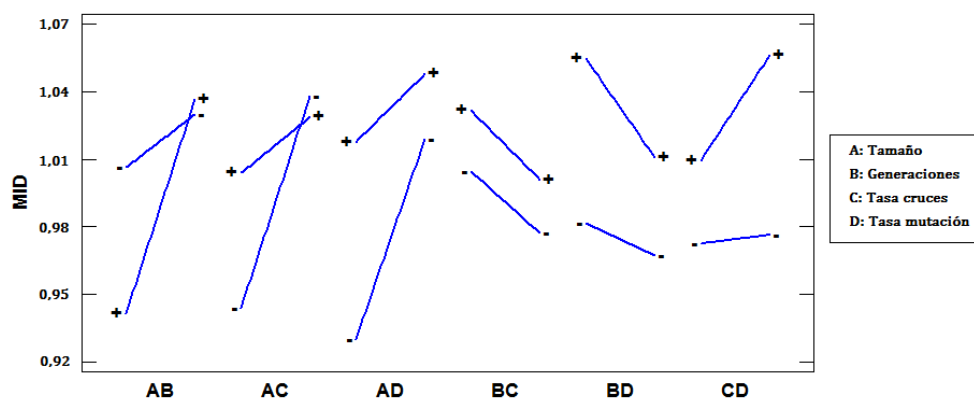


Figura 5-10. Gráfico de interacciones – Período 5

Tomado de: Statgraphics

Así que para las corridas del período 5, los parámetros se fijan de esta manera:

- Tamaño de población: 15
- Tasa de cruces: 30%
- Número de generaciones: 10
- Tasa de mutación: 40%

Prueba 3: período 9

En la **Tabla 5-24** se muestran los datos recogidos en el experimento. Para este último período, la demanda de los 7 perfiles dependientes del resultado del período anterior, se calcula con base en una solución generada con los parámetros calibrados en la prueba anterior.

El supuesto de normalidad de los residuos se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk que arrojó un valor-P de 0.534. El test de Barlett se aplicó a cada factor, y en todos los casos el valor-P fue mayor a 0.05 sin evidencia para rechazar la igualdad de varianzas. Finalmente, el estadístico de Durbin-Watson arrojó un valor-P de 0,611 sin evidencia de rechazar el supuesto de independencia.

Tabla 5-24. Resultados del diseño factorial 2⁴ – prueba período 9

Orden	Tamaño	Generaciones	Cruces	Mutación	MID
1	10	20	20	40	1,0634
2	15	20	30	20	1,0350
3	15	20	20	40	1,0030
4	10	10	30	40	0,8777
5	10	20	30	20	1,0000
6	10	10	20	40	0,9103
7	10	20	30	40	0,8799
8	15	10	30	20	0,9333
9	10	10	30	20	0,9278
10	10	20	20	20	1,0379
11	15	20	30	40	0,8989
12	15	20	20	20	0,9658
13	15	10	30	40	0,9118
14	15	10	20	40	0,9770
15	10	10	20	20	1,0242
16	15	10	20	20	0,8943
17	10	20	20	40	0,9650
18	15	20	30	20	1,0242
19	15	20	20	40	1,0161
20	10	10	30	40	1,0000
21	10	20	30	20	1,0408
22	10	10	20	40	1,0151
23	10	20	30	40	1,0081
24	15	10	30	20	1,0387
25	10	10	30	20	0,9106
26	10	20	20	20	1,0649
27	15	20	30	40	1,0899
28	15	20	20	20	1,0066
29	15	10	30	40	0,9167
30	15	10	20	40	0,9507
31	10	10	20	20	0,9815
32	15	10	20	20	1,0696

El análisis de varianza identificó el factor *número de generaciones* como significativo (*Tabla 5-25*). En la *Figura 5-11* se observa que el efecto principal de este factor sugiere definirlo en su nivel alto para favorecer la variable de respuesta. Los factores *tasa de cruce* y *tasa de mutación*, en un menor grado de impacto, arrojan un mejor valor de respuesta en sus niveles bajos.

Tabla 5-25. Análisis de varianza – período 9

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>B: Generaciones</i>	0,0180595	1	0,0180595	5,54	0,0253
<i>Error total</i>	0,0977463	30	0,00325821		
<i>Total</i>	0,115806	31			

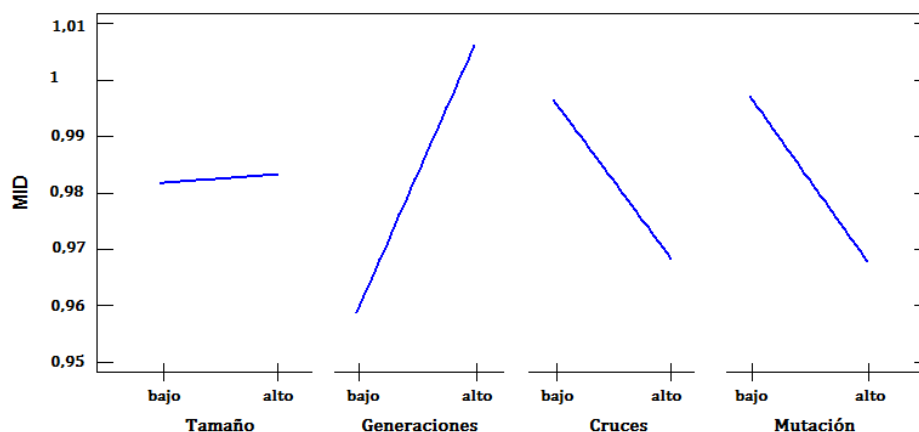


Figura 5-11. Gráfico de efectos principales – Período 9

Tomado de: Statgraphics

En la **Figura 5-12** se confirma que los factores *cruces* y *mutaciones* en interacción con el nivel alto de *generaciones* dan mejores resultados si están en su nivel bajo. El factor *tamaño de población* se sugiere en su nivel bajo, ya que tiene un impacto significativo cuando interactúa con el factor *cruces* en el nivel bajo ya fijado.

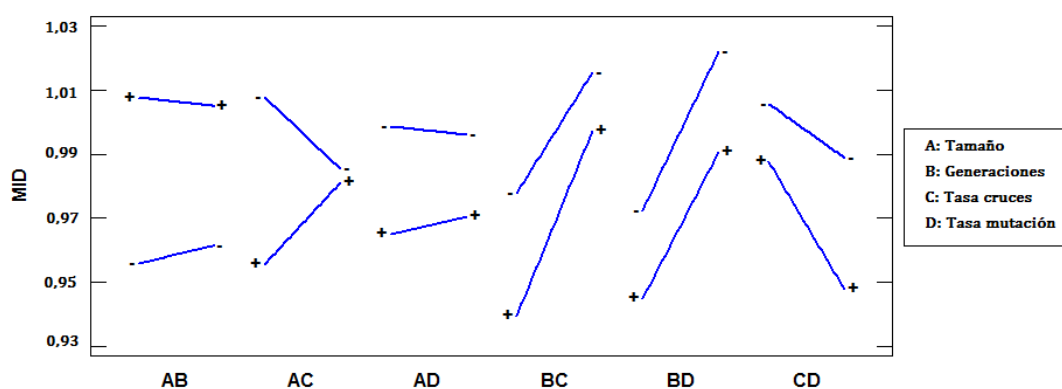


Figura 5-12. Gráfico de interacciones de tasa de mutación con los demás factores – Período 9

Tomado de: Statgraphics

La ejecución del algoritmo en el período 5, se hace con los siguientes parámetros:

- Tamaño de población: 10
- Tasa de cruces: 20%
- Número de generaciones: 20
- Tasa de mutación: 20%

5.2.3.2) Resultados del problema dinámico

Para el cálculo del número óptimo de réplicas, primero se hizo una prueba piloto donde se tomó como valor inicial 35 réplicas. La variable de respuesta es el presupuesto invertido en la solución. Para el cálculo de n se utiliza el método optimista donde se asume una varianza constante y el supuesto de normalidad, n viene dado por:

$$n = Z_{(1-\frac{\alpha}{2})}^2 * \frac{\sigma^2}{h_e^2}$$

Donde,

h_o^2 , half width

$$h_o = t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

h_e^2 , valor esperado de half width, en donde se desea una reducción del half width del 60%

En la **Tabla A7-1** (Anexo 7) se muestra la cantidad de presupuesto invertido en cada corrida, y los cálculos correspondientes al método optimista se presentan en la **Tabla 5-26**.

Tabla 5-26. Cálculo del número de réplicas

Media	3081257520,6
Desviación	22490773,8
n-1	34
α	0,05
$1-\alpha/2$	0,975
$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$	2,032
ho	7'725.851,07
he	3'090.340,4
$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$	1,96
n	100

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deben obtener 100 réplicas del modelo dinámico. Así que se deciden correr 150 corridas para tomar las mejores 100 soluciones. Por período se normalizaron los valores de los objetivos, para luego calcular el *Índice de calidad* de cada solución (cómo se indicó en la sección 4.3). Se eligen las mejores 100 soluciones, las cuales se presentan en la siguiente **Tabla 5-27** ordenadas de mayor a menor valor IC:

Tabla 5-27. Índice de calidad – 100 corridas

Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC	Orden	IC
1	1,2	11	1,16	21	1,13	31	1,11	41	1,09	51	1,06	61	1,03	71	1,01	81	0,98	91	0,95
2	1,19	12	1,16	22	1,13	32	1,11	42	1,08	52	1,06	62	1,03	72	1,01	82	0,97	92	0,95
3	1,19	13	1,15	23	1,12	33	1,11	43	1,08	53	1,06	63	1,02	73	1	83	0,97	93	0,95
4	1,18	14	1,15	24	1,12	34	1,1	44	1,08	54	1,05	64	1,02	74	1	84	0,97	94	0,95
5	1,18	15	1,14	25	1,12	35	1,1	45	1,08	55	1,05	65	1,02	75	1	85	0,97	95	0,94
6	1,18	16	1,14	26	1,12	36	1,1	46	1,07	56	1,04	66	1,02	76	1	86	0,97	96	0,94
7	1,17	17	1,14	27	1,11	37	1,1	47	1,07	57	1,04	67	1,02	77	0,99	87	0,96	97	0,92
8	1,16	18	1,14	28	1,11	38	1,1	48	1,07	58	1,03	68	1,01	78	0,98	88	0,96	98	0,91
9	1,16	19	1,13	29	1,11	39	1,1	49	1,06	59	1,03	69	1,01	79	0,98	89	0,95	99	0,91
10	1,16	20	1,13	30	1,11	40	1,09	50	1,06	60	1,03	70	1,01	80	0,98	90	0,95	100	0,81

En la **Tabla A7-2** (*Anexo 7*) se recopilan las soluciones generadas en las 100 corridas seleccionadas.

Para detectar los valores atípicos en la cantidad de cada perfil por período, se realiza un análisis con base en los diagramas de caja. Se calculan los siguientes parámetros: valores máximo, mínimo y cuartiles 1, 2, y 3. Y luego se halla el rango intercuartil, para identificar aquellos valores por fuera del intervalo.

En la **Tabla 5-28** se muestran los datos para el primer período. En rojo se resaltan aquellos datos por fuera del rango aceptable. Así mismo, se presenta la información para los períodos 5 y 9 en las **Tablas 5-29 y 5-30**.

Tabla 5-28. Cuartiles y rango intercuartil de los perfiles del período 1

	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
Q1	1,0	2,0	2,0	2,0	4,0	3,0
Q2	2,5	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0
Q3	4,0	5,0	5,0	6,0	4,0	6,0
Máximo	8,0	9,0	9,0	11,0	12,0	10,0

RIC	3,0	3,0	3,0	4,0	0,0	3,0
Min	-3,5	-2,5	-2,5	-4,0	4,0	-1,5
Max	8,5	9,5	9,5	12,0	4,0	10,5

Tabla 5-29. Cuartiles y rango intercuartil de los perfiles del período 5

	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12	Perfil 13
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q1	1,8	2,0	1,0	1,0	2,0	3,0	4,0
Q2	2,0	4,0	2,0	2,0	3,0	4,0	7,0
Q3	3,0	5,0	3,0	4,0	5,0	7,0	11,0
Máximo	13,0	10,0	8,0	10,0	15,0	10,0	19,0

RIC	1,3	3,0	2,0	3,0	3,0	4,0	7,0
Min	-0,1	-2,5	-2,0	-3,5	-2,5	-3,0	-6,5
Max	4,9	9,5	6,0	8,5	9,5	13,0	21,5

Tabla 5-30. Cuartiles y rango intercuartil de los perfiles del período 9

	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12	Perfil 13	Perfil 14	Perfil 15	Perfil 16	Perfil 17	Perfil 18	Perfil 19
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q1	2,0	3,0	2,0	1,8	3,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	3,0	2,8	2,0
Q2	3,0	5,0	4,0	3,0	5,0	3,5	4,0	2,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0
Q3	6,0	6,0	6,0	4,0	7,0	5,0	6,3	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	8,0
Máximo	16,0	13,0	15,0	10,0	17,0	15,0	16,0	17,0	13,0	12,0	15,0	15,0	16,0

RIC	4,0	3,0	4,0	2,3	4,0	3,0	4,3	2,0	3,0	4,0	2,0	2,3	6,0
Min	-4,0	-1,5	-4,0	-1,6	-3,0	-2,5	-4,4	-2,0	-2,5	-5,0	0,0	-0,6	-7,0
Max	12,0	10,5	12,0	7,4	13,0	9,5	12,6	6,0	9,5	11,0	8,0	8,4	17,0

En cada caso se anulan los valores por fuera del rango aceptable.

Con los datos resultantes del análisis anterior, se calcula el intervalo de confianza para cada perfil por período. Sean \bar{x} y s la media y desviación estándar de una muestra aleatoria de una población con varianza σ^2 desconocida, un intervalo de confianza de $(1 - \alpha) * 100\%$ para μ es:

$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Los resultados de este cálculo, considerando un alfa de 0.05, se presentan en las **Tablas 5-31, 5-32 y 5-33**. Los valores superior e inferior y la media se redondean al entero más cercano.

Tabla 5-31. Intervalo de confianza para un $\alpha = 0.05$ en el período 1

	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6
Cantidad datos	100	100	100	100	64	100
Desviación	1,9	2,1	2,3	2,3	0,0	2,3
Media	3	3	3	4	4	5
Límite inferior	2	3	3	4	4	4
Límite superior	3	4	4	5	4	5

Tabla 5-32. Intervalo de confianza para un $\alpha = 0.05$ en el período 5

	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12	Perfil 13
Cantidad datos	90	100	96	99	99	100	100
Desviación	1,1	2,6	1,3	1,7	2,4	2,8	3,9
Media	2	4	2	3	4	4	8
Límite inferior	1	3	1	2	3	3	6
Límite superior	2	5	2	3	4	5	8

Tabla 5-33. Intervalo de confianza para un $\alpha = 0.05$ en el período 9

	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12	Perfil 13	Perfil 14	Perfil 15	Perfil 16	Perfil 17	Perfil 18	Perfil 19
Cantidad datos	97	97	98	97	95	98	97	91	98	98	91	89	100
Desviación	2,4	2,3	2,3	1,9	2,5	2,4	3,1	1,4	2,1	2,8	1,6	2,0	4,0
Media	4	4	4	3	5	4	4	2	4	3	4	4	6
Límite inferior	1	2	1	1	2	1	2	0	1	1	1	1	3
Límite superior	4	5	4	3	5	4	5	2	4	4	4	4	6

Una vez se han hallado los intervalos de confianza para los perfiles en cada período, se procede a utilizar un método exacto de optimización que encuentre la mejor combinación con el objetivo de minimizar el costo de la inversión. Las cantidades fluctúan entre los límite superior e inferior del rango hallado.

Para el presente caso de estudio, se utiliza la herramienta Solver de Excel. En la **Tabla 5-34** se presentan las cantidades encontradas de cada perfil por período, y el presupuesto estimado de la inversión.

Tabla 5-34. Política de decisión: cantidad sugerida de cada perfil por período

<i>Perfiles</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	<i>Presupuesto</i>
Período 1	3	4	3	5	4	4														\$ 1.035.640.261
Período 5							1	4	1	3	3	3	7							\$ 1.034.118.147
Período 9							1	3	1	1	2	2	4	0	1	1	1	1	3	\$ 1.037.975.352

La política de decisión entregada en cada período, sugiere una cantidad de cada perfil que puede variar dentro del intervalo indicado, según la cantidad de postulados a la convocatoria y las diferencias entre el costo estimado y el real. En cualquier caso, se considera una planeación de referencia para la asignación del dinero público.

5.2.4. Limitaciones del estudio

- Acceso limitado a la información organizacional de las empresas.
- Estadísticas nacionales desactualizadas sobre la educación en Colombia.

6. CONCLUSIÓN

Esta investigación busca contribuir a la planeación del factor humano en áreas demandadas por los proyectos de inversión en actual ejecución o en etapa de estudio. El trabajo se enfoca al proceso de formación profesional de alto nivel considerando las condiciones de incertidumbre en cuanto a la fecha de finalización de los estudios. La investigación es una herramienta de apoyo para las decisiones gubernamentales en la otorgación de becas condonables, que exigen un tiempo obligatorio en la región como retribución del dinero recibido.

En el Capítulo 2 se presentó un resumen de las investigaciones encontradas en la literatura sobre el problema de asignación de recursos. De esta revisión se pudo concluir que existe una baja cantidad de trabajos en el ámbito de inversión gubernamental. El área de educación se ha enfatizado en la asignación de personal a actividades o proyectos, teniendo en cuenta la duración y competencias de los mismos, pero existen vacíos en el proceso de formación de talento humano y la consideración de variables adscritas a este escenario.

En el siguiente capítulo, se presentó el modelo de inversión propuesto para la financiación pública de educación profesional de alto nivel. Se expusieron las consideraciones de la investigación, el alcance del problema abordado, y la formulación del modelo matemático.

Se eligió la Programación Dinámica como método de solución del problema de decisiones de inversión en un horizonte finito. En el Capítulo 4 se detalló la estructura del modelo, la construcción del esquema matricial y el método de solución. Se añadieron variables estocásticas a la red matricial, para representar las probabilidades de rezago, deserción y migración de los beneficiarios.

La política de inversión se basa en el cálculo de un intervalo de confianza de las cantidades de cada perfil por período arrojadas a lo largo de las diferentes corridas. Se propuso una variable de medición llamada *Índice de calidad* para elegir las mejores soluciones, y con estas se realizó un análisis para detectar valores atípicos que afectaran los resultados. La

cantidad sugerida de cada perfil por período se halla mediante un método exacto de optimización, que encuentre la combinación que minimice el costo de la inversión, donde las cantidades fluctúan entre los valores superior e inferior del intervalo de confianza.

Finalmente, se presentó una aplicación de la investigación a través de un caso de estudio realizado en el departamento del Magdalena en el sector logístico, en el cual se seleccionaron 4 proyectos de referencia. El capítulo comprendió la metodología propuesta para la estimación de la demanda profesional a formar, los resultados obtenidos luego de ingresar al modelo la información recolectada y finalmente el análisis de los resultados.

En el modelo propuesto se toma la decisión en el período cero. Sin embargo, es posible que algunos datos cambien a futuro, por ejemplo, que en determinados períodos el presupuesto en la realidad resulte diferente al esperado, o quizás la demanda resulte mayor a la que se tenía prevista por el ingreso de un nuevo proyecto que no se tenía considerado en la planeación inicial. Así que sería interesante agregar a esta investigación la flexibilidad de que las decisiones se actualicen a medida que se tenga mayor información y datos más certeros.

Entre mayor sea el horizonte de planeación y la cantidad de perfiles a evaluar, mayor será la complejidad de la red matricial. Así que también se sugiere investigar maneras de dividir el problema y reducir el tamaño del esquema dinámico. En adición, los parámetros de período de formación y tiempo de rezago se podrían configurar como variables asignadas a cada perfil, y no fijas como se encuentran en el actual modelo.

Bibliografía

- Aeronáutica Civil de Colombia. (2014). *Estudios previos. Licitación pública No.14000047 OL de 2014*. Bogotá D.C.
- Alburquerque, F. (1997). Metodología para el desarrollo económico local. CEPAL.
- Amat, Y. (3 de mayo de 2015). Colombia va a tener que adoptar el fracking. *El Tiempo*.
- ANDI. (2014). Colombia: Balance 2014 y perspectivas 2015. Sala de prensa.
- ANDI. (2015). *Colombia: Balance 2015 y Perspectivas 2016*.
- Anwar, A., & Bahaj, A. (2003). Student Project Allocation Using Integer Programming. *IEEE Transactions*, 359-367.
- Arango, D. (2015). *Opciones reales en la gerencia de proyectos*. Medellín.
- Asher, D. (1962). A linear programming model for the allocation of R and D efforts. *Engineering Management*, 154-157.
- Asociación Voluntaria del Servicio Internacional. (2008). *Capital humano: recurso para el desarrollo*. Milán, Italia.
- Athanassopoulos, A. (1998). Decision Support for Target-Based Resource Allocation of Public Services in Multiunit and Multilevel Systems. *Management Science*, 173-187.
- Baker, N., Souder, W., Shumway, C., Maher, P., & Rubenstein, A. (1976). A Budget Allocation Model for Large Hierarchical R&D Organizations. *Management Science*, 59-70.
- Bandyopadhyay, J., Sengupta, S., & Bogh, R. (1980). A Resource Allocation Model for an Employability Planning System. *Interfaces*, 90-95.
- Baumol, W., & Quandt, R. (1965). Investment and Discount Rates Under Capital Rationing - a programming approach. *The Economic Journal*, 317-329.
- Bellod Redondo, J. F. (2011). La función de producción Cobb-Douglas y la economía española. *Revista de Economía Crítica* No. 12.
- Bliss, T., Guria, J., Jones, W., & Rockliffe, N. (1999). A road safety resource allocation model. *Transport Reviews*.
- Camara, L., & Cabral, A. (2013). Decision model for allocating human resources in information system projects. *International Journal of Project Management*, 100-108.
- Candler, W., & Boehlje, M. (1971). Use of Linear Programming in Capital Budgeting with Multiple Goals. *American Journal of Agricultural Economics*, 325-30.
- Cárdenas, M., & Junguito, R. (s.f.). Texto básico sobre economía colombiana. *Capítulo 1: grandes tendencias de la economía colombiana*.
- Chambers, D. (1967). Programming the Allocation of Funds Subject to Restrictions on Reported Results. *OR*, 407-432.
- Chang, H., Li, Y., Han, F., & Fan, W. (2014). Force allocation model for armed police handling of emergencies based on linear programming. *Robotics and Biomimetics*, 2250-2254.
- Chapman, C. (1970). The Optimal Allocation of Resources to a Variable Timetable. *Operational Research Quarterly*, 81-90.
- CJEF. (2007). *Guía para la elaboración y actualización de manuales de organización*.
- Colciencias. (s.f.). Recuperado el 15 de octubre de 2016, de <http://www.colciencias.gov.co/>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2013). *CONPES 3758. Plan para restablecer la navegabilidad del río Magdalena*. Bogotá, D.C.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2006). *CONPES 3413: Programa para el Desarrollo de Concesiones de Autopistas*. Bogotá, D.C.

- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2014). *Cuarta generación de concesiones viales: Segunda ola*. Bogotá D.C.
- Cormagdalena. (s.f.). *Sitio oficial de Cormagdalena*. Recuperado el 4 de abril de 2016, de <http://www.cormagdalena.com.co/>
- Correa, J., & Montoya, J. (2013). El valor del Capital Humano: una aproximación desde el enfoque del ingreso para Colombia, 2001-2009. *Cuadernos de Economía*.
- Delias, P., & Matsatsinis, N. (2009). A genetic approach for strategic resource allocation planning. *Computational Management Science*, 269-280.
- Departamento Nacional de Planeación. (2007). *Agenda interna para la productividad y la competitividad. Doc Regional Magdalena*. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Regionalización del Presupuesto de Inversión 2015 - Ajustada*. Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Planeación. (2010). *Regionalización Plan Plurianual de Inversiones 2011-2014. Magdalena*. Bogotá D.C.
- Devadas, V. (1997). Linear Programming Model for Optimum Resource Allocation in Rural Systems. 613-621.
- Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). Investment under uncertainty. *Princeton university press*.
- DNP. (2014). *Balance de resultados: Enfoque nacional 2014*. Bogotá, Colombia: Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas.
- DNP. (2015). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Bogotá.
- DNP. (2013). *CONPES 3758: Plan para Restablecer la Navegabilidad del Río Magdalena*.
- DNP. (2011). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014*. Bogotá, Colombia.
- Donovan, G., & Rideout, D. (2003). An integer programming model to optimize resource allocation for wildfire containment. *Forest Science*, 331-335.
- Earnshaw, S., Hicks, K., Richter, A., & Honeycutt, A. (2007). A linear programming model for allocating HIV prevention funds with state agencies: a pilot study. *Health care management science*, 239-252.
- Ebrahimi, M., Ghomi, S. F., & Karimi, B. (2014). Hybrid flow shop scheduling with sequence dependent family setup time and uncertain due dates. *Applied Mathematical Modelling*, 2490-2504.
- El heraldo. (9 de Noviembre de 2015). Modernización del Aeropuerto Simón Bolívar, despegue de la competitividad. *El heraldo*.
- El Heraldo. (13 de junio de 2016). Urgen solución para APP del río Magdalena.
- El heraldo. (29 de octubre de 2015). Vía de la Prosperidad 52 km para la competitividad.
- El tiempo. (3 de Diciembre de 2015). Conoco Phillips hará 'fracking' en Colombia. *El tiempo*.
- El tiempo. (26 de abril de 2015). Parques Nacionales otorgaron visto bueno a la doble calzada a Ciénaga. *El Tiempo*.
- El tiempo. (10 de marzo de 2016). Sector agrario tuvo crecimiento al final del año y se ubicó en 4,8 %.
- Everett, H. (1963). Generalized Lagrange Multiplier Method for Solving Problems of Optimum Allocation of Resources. *Operations Research*, 399-417.
- Fang, L., & Zhang, C. (2008). Resource Allocation Based on the DEA Model. *Journal of the operational Research Society*, 1136-1141.
- Fernández, C., & Bustamante, V. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107-126.
- Fisher, R. (2005). *Retornos privados y sociales a la educación*.
- Freire-Serén, M. J. (2003). El efecto nivel del capital humano en el crecimiento económico y regional: Un breve repaso a la evidencia empírica. *Revista de estudios regionales*, 135-152.
- Gensch, D., & Welam, U. (1973). An Optimum Budget Allocation Model for Dynamic, Interacting Market Segments. *Management Science*, 179-190.
- Gensch, D., & Welam, U. (1973). An Optimum Budget Allocation Model for Dynamic, Interacting Market Segments. *Management Science*, 179-190.
- Giannikos, I., El-Darzi, E., & Lees, P. (1995). An Integer Goal Programming Model to Allocate Offices to Staff in an Academic Institution. *Journal of the Operational Research Society*, 713-720.

- Gilbert, K., Holmes, D., & Rosenthal, R. (1985). A Multiobjective Discrete Optimization Model for Land Allocation . *Management Science* , 1509-1522.
- Glomm, G., & Ravikumar, B. (1992). Public versus private investment in Human Capital: Endogenous growth and income inequality.
- Gobernación del Magdalena. (2012). *Información general del departamento*.
- Gobernación del Magdalena. (2 de octubre de 2012). *Sitio oficial de la Gobernación de Magdalena, Colombia*. Recuperado el 2 de abril de 2016, de http://www.magdalena.gov.co/informacion_general.shtml
- Hochbaum, D. (2005). Complexity and algorithms for convex network optimization and other nonlinear problems. *Quarterly Journal of Operations Research* , 3, 171-216.
- Ibaraki, T., & Katoh, N. (1988). Resource allocation problems: algorithmic approaches.
- Johnson, M., Zoltners, A., & Sinha, P. (1979). An Allocation Model for Catalog Space Planning . *Management Science* , 217-229.
- Jorgenson, D., & Fraumeni, B. (1992). *Investment in Education and U.S. Economic Growth*.
- Junjie, C., Zhen, W., & Shating, W. (2010). Method Research for the Allocation of Project Human Resources Based on Multi-dimensional Model. *Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* , 160-163.
- Klammer, T. (1972). Empirical evidence of the adoption of sophisticated capital budgeting techniques. *Journal of Business* , 387-397.
- Koopman, B. (1953). The optimum distribution of effort. *Journal of the Operations Research Society of America* , 52-63.
- Koopman, B. (2013). The optimum distribution of effort. *Journal of the Operations Research Society of America* , 52-63.
- Koyuncu, M., & Erol, R. (2010). Optimal Resource Allocation Model to Mitigate the Impact of Pandemic Influenza: A Case Study for Turkey. *Journal of medical systems* , 61-70.
- Kwak, N., & Lee, C. (1997). A Linear Goal Programming Model for Human Resource Allocation in a Health-Care Organization. *Journal of medical systems* , 129-140.
- Lai, K., & Li, L. (1999). A dynamic approach to multiple-objective resource allocation problem. *European Journal of Operational Research* , 293-309.
- Lee, S., & Clayton, E. (1972). A Goal Programming Model for Academic Resource Allocation . *Management Science* , 395-408.
- Letchford, A. (1996). Allocation of School Bus Contracts by Integer Programming. *Journal of the Operational Research Society* , 396-372.
- Li, S., Wang, F., Ma, T., & Yan, W. (2008). Genetic algorithm based fuzzy multi-objective nonlinear programming of regional water allocation. *Cybernetics and Intelligent Systems* , 1353-1358.
- Liberatore, M. (1987). An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection and Resource Allocation. *Engineering Management* , 12-18.
- Lilian, Y. (2004). Use of capital budgeting techniques and an analytic approach to capital investment decisions in Canadian municipal governments. *Public Budgeting & Finance* , 40-58.
- Litsios, S. (1965). A Resource Allocation Problem. *Operations Research* , 1960-1988.
- Lucas, R. (1988). On the mechanics of economic development.
- Luo, G., & Zhang, Y. (2009). The 0-1 Programming Solution for the Problem of Resource Allocation . *Icise* , 5577-5580.
- Luss, H. (1975). Optimization of a Multiperiod Resource Allocation Model . *Operational Research Quarterly* , 83-90.
- Marshall, A. (1980). Principles of Economics.
- Mascareñas, J. (1998). Las decisiones de inversión como opciones reales: un enfoque conceptual. *No. 1998-05. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales* .
- Melo, M., Nickelb, S., & Saldanha-da-Gamad, F. (2009). Facility location and supply chain management

– A review. *European Journal of Operational Research* .

Mingat, A., & Tan, J.-P. (1996). *The full social returns to education : estimates based on countries' economic growth performance*.

Ministerio de transporte. (2 de Noviembre de 2015). Nueva era en la locomotora de la infraestructura.

Montalvan, & Wong. (2005). Un examen empírico de las prácticas de presupuesto de capital en el Perú. 95-111.

Moretti, E. (2002). *Estimating the social return to higher education: evidence from longitudinal and repeated cross-sectional data*.

Moretti, E. (2003). *Human capital externalities in cities*.

Moretti, E. (2005). Social returns to human capital. *The national bureau of economic research* .

Naciones unidas. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Colombia. Desarrollo Local una vía para el Desarrollo Humano*.

Nackel, J., Goldman, J., & Fairman, W. (1978). A Group Decision Process for Resource Allocation in the Health Setting . *Management Science* , 1259-1267.

Naoki Katoh, A. S. (2013). Resource Allocation Problems. En *Handbook of Combinatorial Optimization* (págs. 905-1006).

Naoki Katoh, A. S. (2013). Resource Allocation Problems. *Handbook of Combinatorial Optimization* , 905-1006.

Nemhauser, G., & Ullmann, Z. (1969). Discrete Dynamic Programming and Capital Allocation. *Management Science* , 494-505.

Nguyen, Q., & Stone, R. (1978). A Multiperiod Minimax Resource Allocation Problem with Substitutable Resources. *Management science* , 964 - 974.

Noticias RCN. (18 de febrero de 2015). Reservas de gas en Colombia sólo alcanzarían hasta 2018.

Ochoa, J., & Mora, A. (2014). Prácticas de presupuesto de capital: evaluación empírica en un grupo de empresas del sector de la construcción en Colombia.

OIT. (1966). *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra.

O'Neill, R., Williard, M., Wilkins, B., & Pike, R. (1979). A Mathematical Programming Model for Allocation of Natural Gas. *Operations research* , 857 - 873.

Paine, N. (1964). Uncertainty and capital budgeting. *Accounting Review* , 330-332.

Pal, B., Chakraborti, D., & Biswas, P. (2009). A Genetic Algorithm Based Hybrid Goal Programming Approach to Land Allocation Problem for Optimal Cropping Plan in Agricultural System. *Industrial and Information Systems* , 181-186.

Pantoja, F. (2010). *Rentabilidad de la inversión en educación Beneficios privados y sociales*.

Patriksson, M. (2006). A survey on the continuous nonlinear resource. *European Journal of Operational Research* , 1–46.

Pérez, I. (2009). Presupuesto público: principal herramienta de control, gestión y planificación del gobierno. *Universidad Católica de Argentina, facultad de Ciencias Sociales y Económicas* .

Petrović, R. (1968). Optimization of Resource Allocation in Project Planning. *Operations Research* , 559-568.

Powell, W., George, A., Bouzaïene, A., & Simao, H. (2005). Approximate Dynamic Programming for High Dimensional Resource Allocation Problems. *Neural Networks* , 2989-2994.

Psacharopoulos, G., & Patrinos, H. (2004). *Returns to Investment in Education: A Further Update*. Education economics.

Psacharopoulos, G., & Ying, C. (1992). *Earnings and Education in Latin America: Assessing Priorities for Schooling Investments*. Policy Research Working Papers, No. 1056, The World Bank.

Qingcheng, Z., Zhongzhen, Y., & Chao, C. (2010). Robust Optimization Model for Resource Allocation of. *Tsinghua science and technology* , 586-594.

Radio, L. W. (4 de mayo de 2015). Primera perforación de petróleo con fracking en Colombia se haría en 2016.

Rajkumar, R., Lee, C., Lehoczy, & Siewiorek, D. (1998). Practical Solutions for QoS-based Resource

Allocation Problems . *Real-Time Systems Symposium* , 296-306.

Revista Dinero. (12 de junio de 2015). Crecimiento económico: cuáles sectores ganan, pierden y quedan igual.

Reyck, Degraeve, Z., & Vandenborre, R. (2008). Project options valuation with net present value and decision tree analysis. *European Journal of Operational Research* , 341-355.

Rider, K. (1976). A parametric model for the allocation of fire companies in New York City. *Management Science* , 146-158.

Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth.

Savage, L., & Lorie, J. (1955). Three problems in rationing capital. *The Journal of Business*, 28(4), 229-239.

Schroeder, R. (1974). Resource Planning in University Management by Goal Programming. *Operations Research* , 700-710.

Secretaría de Transporte de la Nación Argentina. *Hidrovia Paraná Paraguay. Subsecretaría de Puertos y Vías Navegables*. Buenos aires, Argentina.

Sekwat, A. (1996). The Use of Capital Budgeting Decision Models by County Governments: A Survey. *State & Local Government Review* , 180-192.

Sinuany, Z. (1984). A Network Optimization Model for Budget Allocation in a Multi-Campus University . *The Journal of the Operational Research Society* , 749-757.

SNIES. (2015). *Sistema de información del Observatorio Laboral para la educación*. Recuperado el 20 de octubre de 2016, de <http://www.graduadoscolombia.edu.co/>

T Klammer, M. W. (1984). The continuing increase in the use of sophisticated capital budgeting techniques. *California Management Review* .

Taylor, J., & Walsh, E. (1964). Planning by Resource Allocation Methods-Illustrated by Military Applications. *Operations Research* , 693-706.

Topaloglu, H., & Powell, W. (2005). A Distributed Decision-Making Structure for Dynamic Resource Allocation Using Nonlinear Functional Approximations. *Operations research* , 281-297.

Toshihide Ibaraki, N. K. (1988). *Resource Allocation Problems: Algorithmic approaches*. Cambridge: MIT.

Trigeorgis, L. (1995). Real options in capital investment: Models, strategies, and applications. *Greenwood Publishing Group*.

Wang, Y., Zhang, L., & Wang, W. (2012). A Human-Asset-Compromised Allocation Model of Multiple Emergency Projects in Service-Focused Enterprises . *Services Computing* , 360-367.

Weingartner, H. (1966). Capital Budgeting of Interrelated Projects: Survey and Synthesis. *Management Science* , 485-516.

Weingartner, H., & Ness, D. (1967). Method for the Solution of the Multi-Dimensional 0/1 Knapsack Problem. *Operations Research* , 83-103.

Weingartner, M. (1963). Mathematical programming and the analysis of capital budgeting problems. *Englewood Cliffs* .

Wiggins, D. (1980). A case study in governmental capital budgeting. *Governmental Finance* 9 , 19-21.

World Bank. *Economic Returns to Investment in Education*.

Zoltners, A., & Sinha, P. (1980). Integer Programming Models for Sales Resource Allocation. *Management Science* , 242-260.

D. M. Holthausen, G. Assmus (1982)		x	x									x							
D. Bienstock, J. F. Shapiro (1988)		x					x					x							
G. Luo, Y. Zhang (2009)	x						x									x			
C. Junjie, W. Zhen ; W. Shating (2010)	x				x								x						

Tabla A1-6-2. Modelos único periodo – Múltiple objetivos

Autores	Escenario		Objetivos					Método de solución	Tipo de recurso						Aplicaciones								
	Certidumbre	Incertidumbre	Utilidad	Costo	Valores	Probabilidad	Beneficio		Time	Académico	Activos	General	Mano de obra	Proyecto y tareas	Otros recursos	Recurso natural	Organizaciones	Proyectos y programas	Académico	General	Sistemas	Educación	Ciudades
H. Everett (1963)	x		x						EXACTO			x							x				
S. M. Lee, E. R. Clayton (1972)	x				x					x								x					
I. Giannikos, E. El-Darzi, P. Lees (1995)	x				x					x								x					
A. D. Athanassopoulos (1998)	x				x									x			x						
L. Fang , C.Q. Zhang (2008)	x				x							x					x						
Z. Qingcheng, Y. Zhongzhen, C. Chao (2010)	x		x		x						x										x		
K. C. Gilbert, D. D. Holmes, R. E. Rosenthal (1985)	x			x	x				HEURÍSTICA						x							x	
T. Bliss , J. Guria , W. Jones, N Rockliffe (1999)	x			x		x								x									x
L.Shurong, W. Feng, M. Tao, Y. Wei (2008)	x							x							x						x		
B. B. Pal, D. Chakraborti, P. Biswas (2009)	x				x		x								x						x		
M. Koyuncu, R. Erol (2010)	x				x									x				x					
Y. Wang, L. J. Zhang, W. Wang (2012)	x			x				x					x				x						

Tabla A1-6-3. Modelos múltiples períodos – Único objetivo

Autores	Escenario		Objetivo						Método de solución	Tipo de recurso						Aplicaciones					
	Certidumbre	Incertidumbre	Utilidad	Costo	Valor	Probabilidad	Beneficio	Tiempo		Activos	Capital	General	Mano de obra	Proyectos y tareas	Recurso natural	Organizaciones	Proyectos y programas	Mercadeo	Militar	General	Sistemas
S. Litsios (1965)	x							x	EXACTO			x								x	
D. Chambers (1967)	x		x								x						x				
R. Petrović (1968)	x			x								x								x	
G. L. Nemhauser, Z. (1969)Ullmann	x		x								x						x				
D, H. Gensch, U. P. Welam (1973)	x						x				x							x			
H. Luss (1975)	x		x									x						x			
A. A. Zoltners, P. Sinha (1980)	x	x	x											x				x			
H. Topaloglu, W. B. Powell (2005)	x						x					x								x	
W. B. Powell, a. George. Bouzaïene, H. P. Simao (2005)	x			x								x								x	
L. Camara, A. P. Cabral (2013)	x							x					x				x				
J. Cord (1964)		x	x						HEURÍSTICA		x						x				
R. D. Armstrong, C. E. Willis (1977)	x		x												x						x
Q. C. Nguyen, R. E. Stone (1978)	x				x					x											x
D. L. Keefer, S. M. Pollock (1980)		x	x									x								x	
G. R. Reeves, J. R. Sweigart (1982)	x		x									x				x					
A. Mehrez, Z. Sinuany- Stern (1983)		x	x									x									x
P. Plamondon, B. Chaib-draa, A. R. Benaskeur U(2007)		x					x					x							x		
Y. P. Li, G. H. Huang, X Chen (2009)		x			x										x						x
D. Xu, Y. Ye, Y. Lu, S. Deng (2010)		x		x						x							x				

Y.P. Li, G.H. Huang, S.L. Nie (2010)		x					x								x						x
J. Dang, D. Edelman, R. Hochreiter, A. Brabazon (2010)		x	x							x										x	
S. Wang, G. H. Huang (2012)		x	x												x						x

Tabla A1-6-4. Modelos múltiples períodos – Múltiples objetivos

Autores	Escenario		Objetivos						Método de solución	Tipo de recurso						Aplicaciones				
	Certidumbre	Incertidumbre	Utilidad	Costo	Valores	Probabilidad	Beneficio	Área		Académico	Activos	Capital	General	Mano de obra	Recurso natural	Organizaciones	Académico	General	Sistemas	Ciudades
W. Candler, M. Boehlje (1971)	x		x			x			EXACTO			x				x				
R. G. Schroeder (1974)	x				x					x							x			
N. K. Kwak, C. Lee (1997)	x			x										x		x				
K.K. Lai, Lushu Li (1999)	x						x						x					x		
G. H. Donovan, D. B. Rideout (2003)	x			x	x						x								x	
Z. Sinuany-Stern (1984)	x				x				HEURÍSTICA			x					x			
A. Higgins, A. Archer, S. Hajkowicz (2008)		x			x										x				x	
P. Delias, N. Matsatsinis (2009)	x		x		x							x				x				
Y. Han, Y. F. Huang, G. Q. Wang, I. Maqsood (2011)		x	x		x			x							x					x

ANEXO 2

Tabla A2-1. Caracterización referentes del Proyecto remodelación del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar

AEROPUERTOS		Tipo tráfico	Cantidad de Vuelos							
			Cantidad de Vuelos			Toneladas carga anual (2014)			Destinos	
Nombre	Ciudad		Estadísticas	Nacional	Internacional	Estadísticas	Nacional	Internacional	Nacionales	Internacionales
Simón Bolívar	Santa Marta	Internacional	-	-	-	-	-	-	-	-
Ernesto Cortizzos	Barranquilla	Internacional	2.392.336	2.206.419	185.917	33.290	24.393	8.897	8	4
José María Córdova	Ríonegro	Internacional	6.535.443	5.460.692	1.074.751	117.468	33.988	83.480	9	13

AEROPUERTOS		Especificaciones técnicas de las instalaciones					
		PISTA			CALLES RODAJE	PLATAFORMA	SUPERFICIE
Nombre	Cant	Dim (m)	Material		Ancho (m)	Puentes abordaje	Área (hectáreas)
Simón Bolívar	1	2.200 x 40	Asfalto 69/F/A/X/T		22	5	50 hectáreas
Ernesto Cortizzos	1	3.000 x 45	Concreto de cemento PCN 53/R/B/W/U		22	20	317 hectáreas
José María Córdova	1	3.500 x 45	Concreto asfáltico PCN 108/F/C/W/T		30	12	600 hectáreas

AEROPUERTOS	Operaciones realizadas						
	Aviación militar	Aviación civil	Tratamiento agua potable	Centro acopio	Manejo agua lluvias	Hangar mantenimiento	Tratamiento aguas residuales
Nombre							
Simón Bolívar	NO	x	x	x	x	NO	x
Ernesto Cortizzos	x	x	x	x	x	NO	x
José María Córdova	x	x	X	x	x	x	x

Tabla A2-2. Caracterización referentes del Proyecto construcción de una concesión fluvial

PUERTOS FLUVIALES		Río	Tamaño de la operación		Especificaciones técnicas de las instalaciones			
			Mov. carga anual 2015 (TEUS)	Tránsito de pasajeros	Muelles			Superficie (hectáreas)
Nombre	País		Estadísticas		Cantidad	Longitud (m)	Profundidad (m)	
S.P. Salamina	Colombia	Magdalena	-	Si	-	-	-	-
Puerto Fenix	Paraguay	Paraguay	140.000	No	3	330	7	100
Terminal Puerto Rosario	Argentina	Paraná	30.000	No	3	1600	36	70

PUERTOS FLUVIALES	Operaciones realizadas									
	Carga				Productos especiales		Tipos embarcaciones		Almacena- miento	Principal transporte interno
Nombre	Carga general	Graneles líquidos	Graneles sólidos	Contenedores	Hidrocarburos	Prod. químicos	Barcazas	Buques		
S.P. Salamina	x	x	x	No	No	No	x	No	x	Carretera
Puerto Fenix	x	x	x	x	No	No	x	No	x	Carretera
Terminal Puerto Rosario	x	x	x	x	No	x	No	x	x	Carretera

Tabla A2-3. Caracterización referentes del Proyecto modernización Puerto de Santa Marta

PUERTOS MARÍTIMOS		Tipo de puerto	Tamaño de la operación		Especificaciones técnicas de las instalaciones				
			Movilización de carga Comercio exterior		Muelles marítimos				Área (hectáreas)
Nombre	Municipio		Ton (IV trim 2015)	TEUS (2014)	Cant.	Long. (m)	Profund prom (pies)	Calado prom (pies)	
S.P. Santa marta	Santa Marta	Regional	-	-	7	1.085	75	60	-
S. P. Cartagena	Cartagena	Regional	14.666.469	2.236.551	8	1.636	36	35	400
S. P. Buenaventura	Buenaventura	Regional	14.639.068	855.404	14	1.969	41	32	620
P. Manzanillo	Manzanillo	Regional	7'063.388	2'151.452	19	6.453	49	46	437

PUERTO	Operaciones realizadas										
	Mercancía				Productos especiales		Especialidad	Acceso fluvial	Principal transporte interno	Almacenamiento	Zona franca
	Carga general	Gran. líquidos	Gran. sólidos	Contened.	Hidrocarburos	Prod químicos					
Santa Marta	x	x	x	x	x	x	Multipropósito	NO	Férreo / carretera	x	x
Cartagena	x	No	No	x	x	x	Contenedores	x	Carretera	x	x
Buenaventura	x	x	x	x	x	x	Multipropósito	NO	Férreo / carretera	x	x
Manzanillo	x	x	x	x	x	x	Multipropósito	NO	Férreo / carretera	x	x

Tabla A2-4. Caracterización de los referentes del Proyecto doble calzada Y de Ciénaga - Barranquilla

VÍAS		Ruta	Tipo de vía	Índice de tráfico	Especificaciones técnicas de las vías			
				Volumen de tráfico* (día)	Ruta			
Concesionaria	Concesión				Long. (km)	No. carriles	Vel. diseño (km/h)	Puentes/túneles/desvíos
Pendiente	Y Ciénaga - Barranquilla	Y - Ciénaga - Barranquilla	Interurbana	-	64	2	80	NO
Ruta del Maipo	Ruta 5, tramo Santiago-Talca	Santiago - Talca	Interurbana	32.673	237,06	2	120	x
Autopista del Sol	Autopista Santiago - San Antonio	Santiago - Puerto San Antonio	Interurbana	21.500	131,4	2	120	NO

* Congestión promedio en tiempo de festividad

VÍAS	Servicios brindados		
	Construcción y mantenimiento	Sistema seguridad y emergencias	Asistencia médica
Y Ciénaga - Barranquilla	x	x	x
Ruta 5, tramo Santiago-Talca	x	x	x
Autopista Santiago - San Antonio	x	x	x

ANEXO 3

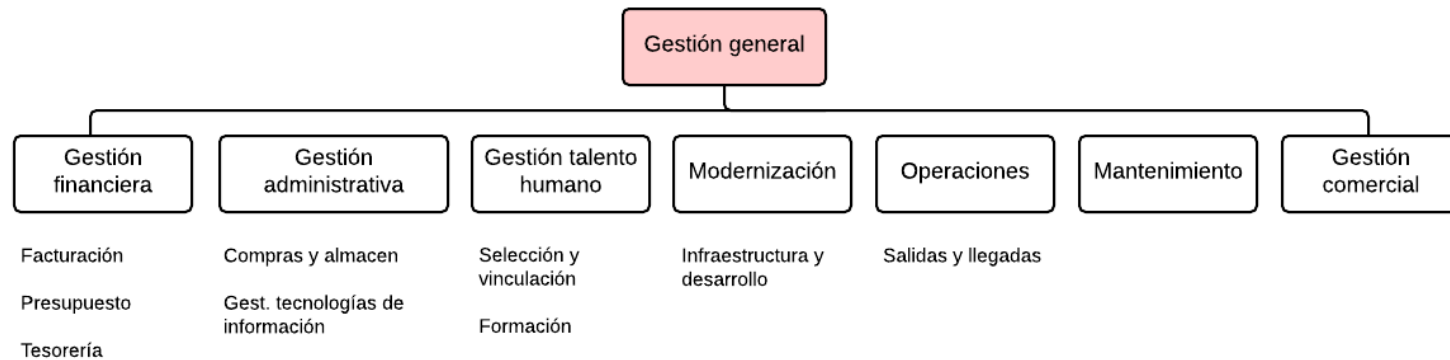


Figura A3-1. Organigrama Aeropuerto José María Córdova

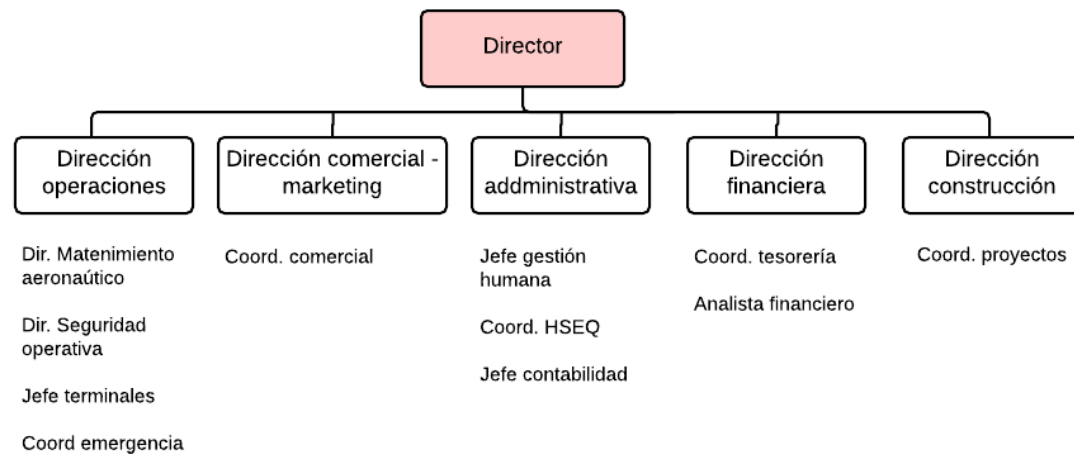


Figura A6-1-2. Organigrama Aeropuerto Ernesto Cortissoz

Tabla A3-1. Estructura organizacional resultante para el proyecto de remodelación del Aeropuerto de Santa Marta

	CARGOS	Objetivo del cargo	Perfil
Nivel estratégico	DIRECCIÓN GENERAL	Asegurar la operación del aeropuerto. Definir las estrategias de la organización	Alta gerencia/planeamiento estratégico
Nivel táctico	DIRECCIÓN COMERCIAL	Gestionar la expansión y posicionamiento de las actividades comerciales de la Entidad	Dirección comercial
Nivel operativo	Servicios comerciales	Definir estrategias comerciales que permitan obtener mayores ingresos	Comercio
Nivel operativo	Promoción	Promover una buena imagen corporativa	Mercadeo estratégico
Nivel táctico	DIRECCIÓN DE OPERACIONES	Administrar la efectiva gestión de la operación aeroportuaria y de los servicios de apoyo	Gerencia logística
Nivel operativo	Servicios aeroportuarios	Gestionar los servicios aeroportuarios. Coordinar el tráfico de pasajeros y cargas	Logística aeroportuaria
Nivel operativo	Operación	Coordinar las operaciones en el espacio aéreo	Telecomunicaciones
Nivel operativo	Seguridad	Consolidar la seguridad operacional en el área de movimiento e instalaciones físicas	Seguridad aeroportuaria / Industrial
Nivel táctico	DIRECCIÓN TÉCNICA	Garantizar el buen funcionamiento de toda la entidad	Gerencia técnica
Nivel operativo	Infraestructura y mantenimiento	Gestionar las actividades de mantenimiento, desarrollo y gestión de obras de infraestructura	Estructuras
Nivel táctico	DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA	Administrar los recursos físicos, humanos y financieros	Administración estratégica
Nivel operativo	Recursos humanos	Asegurar que el aeropuerto cuente con el personal idóneo, satisfecho de sus remuneraciones, prestaciones y expectativas de desarrollo laboral	Gestión humana
Nivel operativo	Finanzas	Administrar el ingreso y gasto, y garantizar el óptimo aprovechamiento de los recursos en función de las necesidades	Administración financiera
Nivel operativo	Sistemas y comunicaciones	Proveer el procesamiento de datos y aplicaciones, sistematización de actividades, estadísticas y comunicaciones	Sistemas informáticos

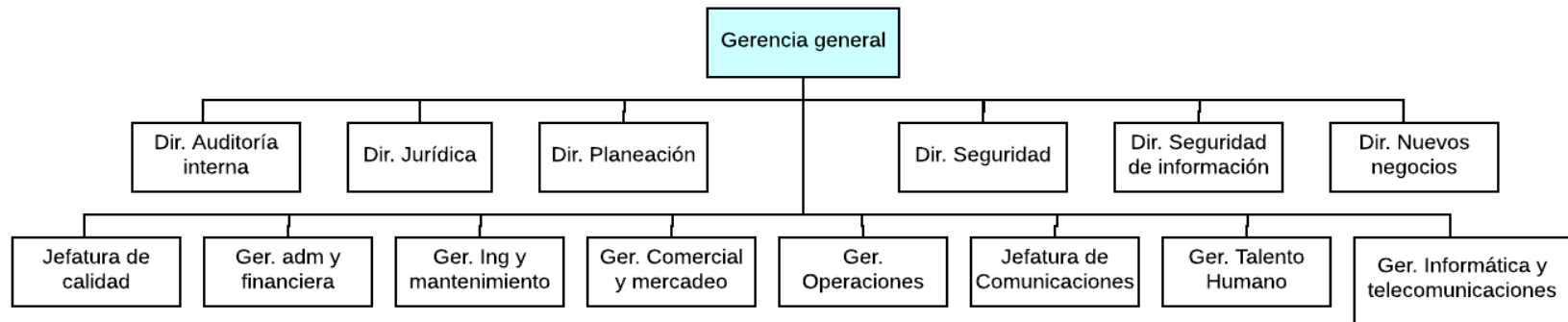


Figura A3-3. Organigrama Sociedad Portuaria de Buenaventura



Figura A3-4. Organigrama Puerto de Manzanillo

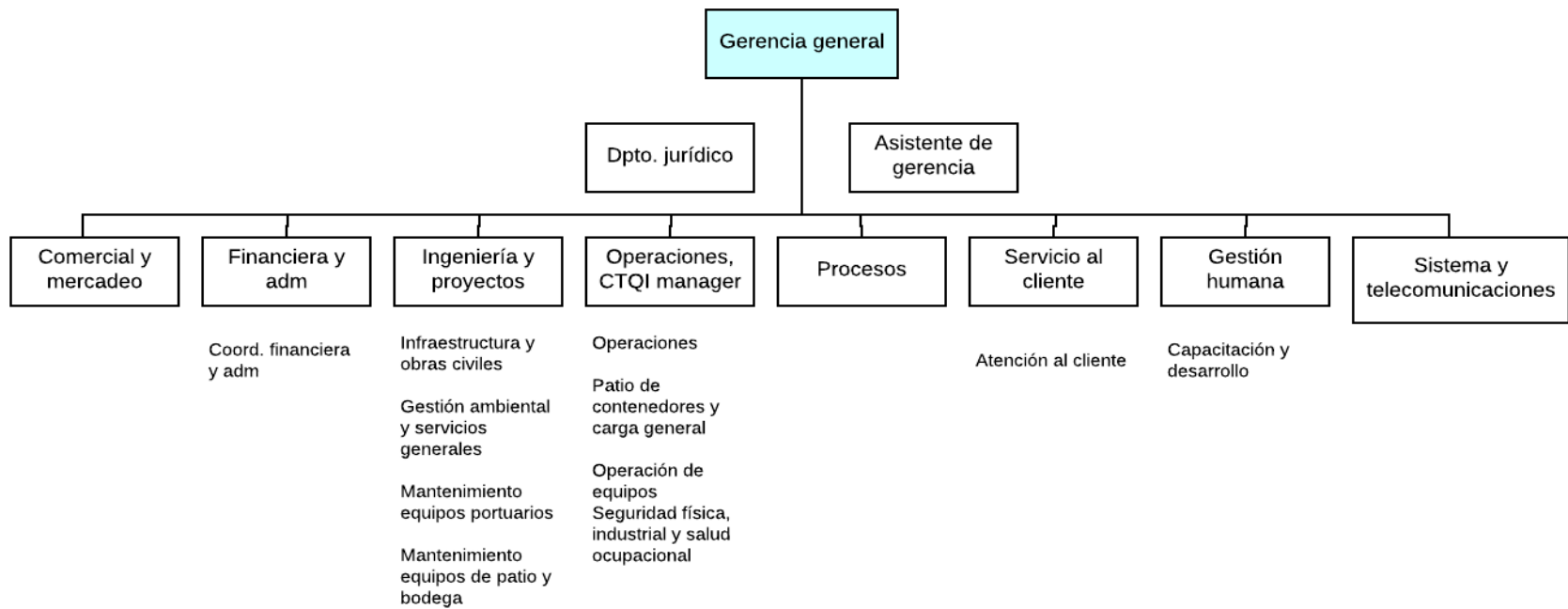


Figura A3-5. Organigrama Sociedad Portuaria de Cartagena

Tabla A3-2. Estructura organizacional resultante para el proyecto modernización del Puerto de Santa Marta

	CARGOS	Objetivo del cargo	Perfil
Nivel estratégico	DIRECCIÓN GENERAL	Asegurar la operación del puerto marítimo. Definir las estrategias de la organización	Alta gerencia
Nivel táctico	DIRECCIÓN COMERCIAL	Gestionar la promoción del puerto y el desarrollo de nuevos negocios	Dirección comercial
Nivel operativo	Promoción	Preparar estrategias de promoción, ofertas comerciales y programas de difusión. Ejecutar planes para mantener la marca de calidad	Mercadeo estratégico
Nivel táctico	DIRECCIÓN OPERACIONES	Administrar la operación y prestación de servicios portuarios bajo las normas y políticas exigidas.	Gerencia logística
Nivel operativo	Operaciones	Conducir la logística de transferencia de mercancía y la coordinación de las partes involucradas	Gestión portuaria
Nivel operativo	Protección portuaria	Elaborar el plan de protección de la instalación portuaria. Comprobar el cumplimiento de normas de seguridad e higiene	Seguridad portuaria / Industrial
Nivel operativo	Ecología	Inspeccionar el cumplimiento de requisitos legales ambientales por parte de la entidad	Gestión ambiental
Nivel táctico	DIRECCIÓN INGENIERIA	Coordinar la ejecución de obras de infraestructura y mantenimiento de acuerdo a la normativa aplicable. Coordinar la ejecución de proyectos para modernizar el puerto	Infraestructura portuaria
Nivel operativo	Construcción y mantenimiento	Preparar el programa de obras. Ejecutar e inspeccionar los trabajos de obra pública y mantenimiento	Estructuras
Nivel operativo	Técnica de proyectos	Elaborar los proyectos en el tiempo establecido e inspeccionar el avance	Diseño de proyectos
Nivel táctico	DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA	Coordinar las actividades del proceso financiero, suministro de bienes y servicios, y control de inventarios	Administración estratégica

Nivel operativo	Finanzas	Conducir los procesos de facturación, recaudación y gestión financiera.	Administración financiera
Nivel operativo	Administración de servicios	Conducir la logística de bienes y servicios para el buen funcionamiento de todas las dependencias	Logística
Nivel táctico	DIRECCIÓN RECURSOS HUMANOS	Administrar el proceso de desarrollo y selección de capital humano	Dirección estratégica de recursos humanos
Nivel operativo	Gestión de personas	Coordinar las contrataciones, estudios de clima y programas de bienestar.	Gestión humana
Nivel operativo	Capacitación	Coordinar los programas para fortalecer el desarrollo y el desempeño del personal	Desarrollo de personal
Nivel táctico	DIRECCIÓN JURÍDICA	Supervisar que contratos y convenios de apoyo jurídico se ejecutan en el tiempo establecido. Apoyar los procesos legales de la entidad	Derecho comercial y marítimo
Nivel táctico	DIRECCIÓN SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES	Desarrollar la infraestructura informática y de comunicaciones. Administrar la infraestructura informática y la información.	Gerencia informática
Nivel operativo	Desarrollo de sistemas	Mantener los sistemas existentes en óptimas condiciones, mediante la implementación de programas de mantenimiento	Sistemas informáticos

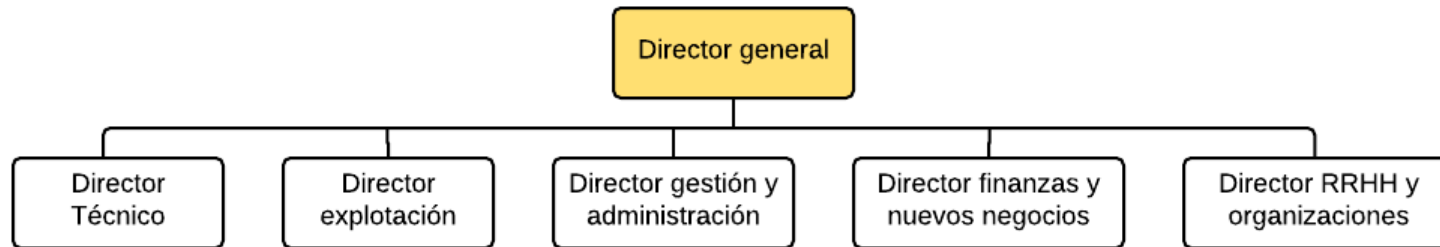


Figura A3-6. Organigrama Sociedad Concesionaria Autopista del Sol

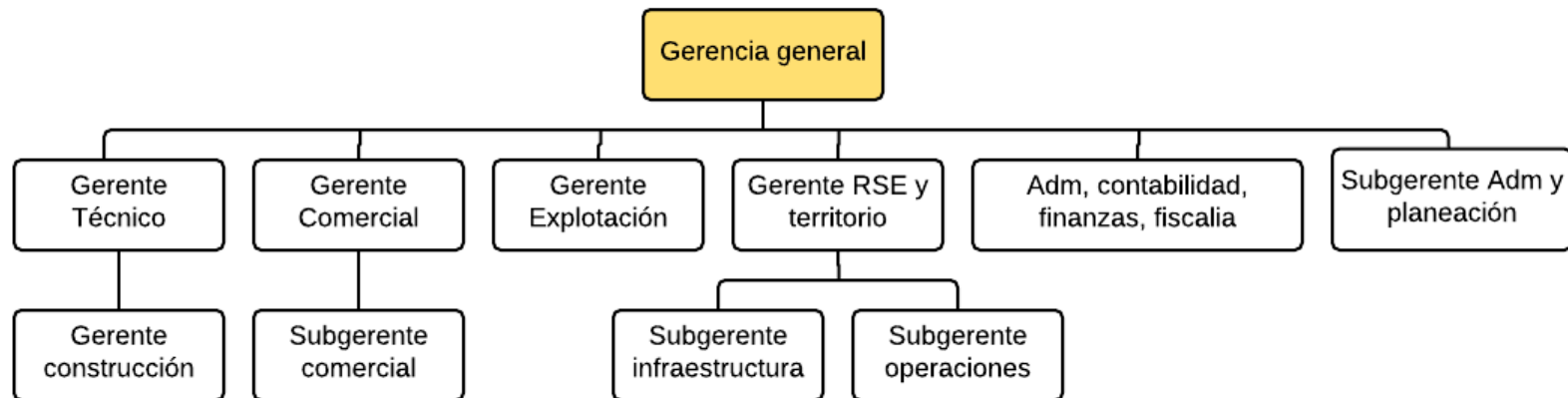


Figura A3-7. Organigrama Ruta Maipo

Tabla A3-3. Estructura organizacional resultante para el proyecto de doble calzada Y de Ciénaga - Barranquilla

	CARGOS	Objetivo del cargo	Perfil
Nivel estratégico	DIRECCIÓN GENERAL	Administrar el funcionamiento y asegurar el estado óptimo de la vía concesionada. Definir las estrategias de la organización	Alta gerencia/planeamiento estratégico
Nivel táctico	DIRECCIÓN TÉCNICA	Coordinar las actividades propias de la infraestructura vial	Infraestructura vial
Nivel operativo	Construcción y mantenimiento	Gestionar la ejecución de obras de construcción y mantenimiento de la vía	Mantenimiento vial
Nivel operativo	Técnica de proyectos	Gestionar la planeación y programación de proyectos de conservación vial	Gerencia de proyectos
Nivel operativo	Medio Ambiente	Analizar las repercusiones de las obras y gestionar las licencias ambientales	Medio Ambiente
Nivel táctico	DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA	Coordinar las actividades del proceso financiero. Coordinar el proceso de desarrollo y selección de capital humano	Administración estratégica
Nivel operativo	Finanzas	Conducir la gestión de los recursos financieros, pagos y registros	Administración financiera
Nivel operativo	Recursos Humanos	Desarrollar las actividades de administración y desarrollo de los recursos humanos	Dirección estratégica de recursos humanos
Nivel táctico	DIRECCIÓN EXPLOTACIÓN	Coordinar las actividades relacionadas con la administración de la vía	Administración vial
Nivel operativo	Operación	Gestionar el cobro de los servicios ofrecidos por la concesión	Administración de operaciones

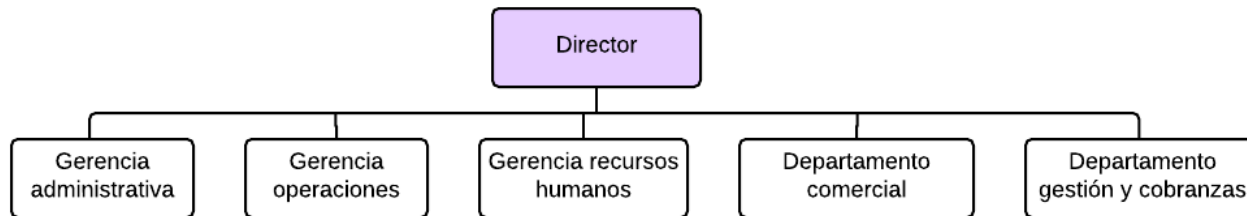


Figura A3-8. Organigrama Puerto Fenix

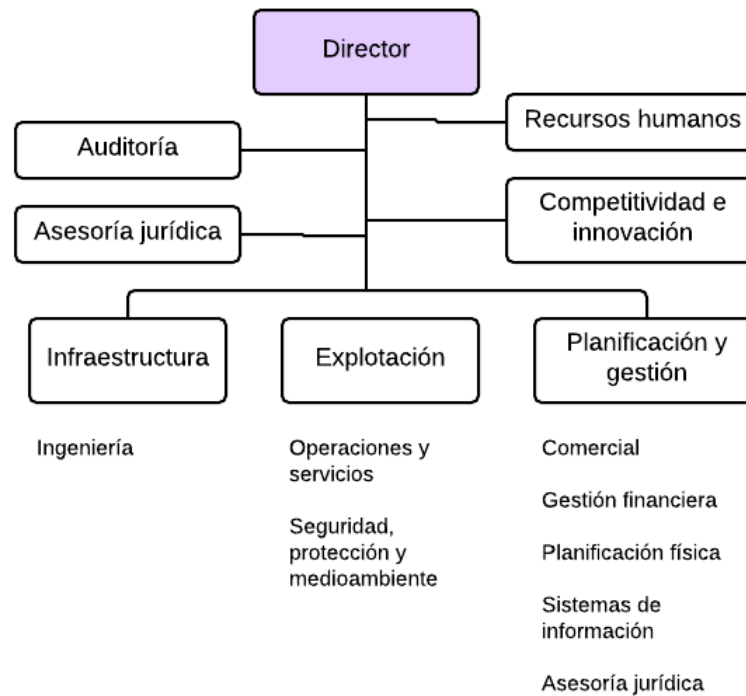


Figura A3-9. Organigrama Terminal Puerto de Rosario

Tabla A3-4. Estructura organizacional resultante para la concesión fluvial en el Río Magdalena

	CARGOS	Objetivo del cargo	Perfil
Nivel estratégico	DIRECCIÓN GENERAL	Administrar el funcionamiento y asegurar el estado óptimo de la terminal fluvial. Definir las estrategias de la organización	Alta gerencia/planeamiento estratégico
Nivel táctico	ASESORÍA JURÍDICA	Asegurar que las acciones institucionales se realicen dentro del marco legal vigente	Derecho comercial
Nivel táctico	DIRECCIÓN COMERCIAL	Gestionar la promoción de la entidad y el desarrollo de nuevos negocios	Dirección Comercial
Nivel operativo	Atención al cliente	Preparar estrategias comerciales para los usuarios	Mercadeo
Nivel táctico	DIRECCIÓN OPERACIONES	Administrar la operación y prestación de servicios portuarios bajo las normas exigidas	Gerencia logística
Nivel operativo	Operaciones	Conducir la logística de transferencia de mercancía mediante barcazas	Logística portuaria
Nivel operativo	Seguridad	Coordinar los planes de seguridad e higiene	Seguridad portuaria/industrial
Nivel operativo	Medio ambiente	Analizar y prevenir las repercusiones del funcionamiento de la entidad sobre el ecosistema fluvial	Gestión ambiental
Nivel táctico	DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA	Coordinar las actividades del proceso financiero. Coordinar el proceso de desarrollo y selección de capital humano	Administración estratégica
Nivel operativo	Planeación física	Conducir la logística de bienes y servicios para el buen funcionamiento de todas las dependencias	Logística
Nivel operativo	Sistemas de información	Mantener los sistemas existentes en óptimas condiciones	Sistemas informáticos
Nivel táctico	DIRECCIÓN RECURSOS HUMANOS	Administrar el proceso de desarrollo y selección de capital humano	Dirección estratégica de recursos humanos
Nivel táctico	DIRECCIÓN GESTIÓN FINANCIERA	Administrar los recursos financieros. Gestionar las estrategias de expansión	Administración financiera
Nivel operativo	Gestión y cobranzas	Conducir la gestión de los recursos financieros, pagos y registros	Gestión financiera

ANEXO 4

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MANUALES DE ORGANIZACIÓN (CJEF, 2007)

Lista de verbos para funciones por niveles estratégicos

En la **Tabla A4-1** se muestran algunos verbos de referencia para la redacción de funciones, clasificados según su uso, en niveles: el 1 corresponde al nivel decisorio superior o estratégico, el 2 al nivel decisorio intermedio o táctico y el 3 al nivel decisorio operativo.

Tabla A4-1. Listado de verbos por niveles

	1	2	3
Aconsejar		x	
Acordar		x	
Actualizar			x
Adecuar		x	x
Administrar	x	x	
Almacenar			x
Analizar		x	x
Apoyar		x	x
Aprobar		x	
Articular		x	
Asegurar	x	x	
Asesorar		x	x
Asignar		x	
Asistir			x
Atender			x
Auditar		x	
Autorizar	x	x	
Calificar			x
Capacitar			x
Colaborar		x	
Compilar			x
Comprobar			x
Comunicar	x	x	x

Conducir		x	x
Consolidar		x	x
Consultar			x
Contabilizar			x
Contribuir		x	
Controlar	x	x	
Coordinar	x	x	
Dar			x
Definir	x		
Desarrollar	x	x	
Designar	x		
Determinar	x	x	
Diagnosticar	x	x	
Dictar		x	
Dictaminar	x		
Difundir	x	x	x
Dirigir	x		
Diseñar	x	x	
Distribuir		x	
Divulgar		x	x
Ejecutar			x
Elaborar	x	x	x
Emitir	x	x	
Entrevistar			x

Especificar			x
Establecer	x	x	
Estandarizar			x
Estimar			x
Estructurar		x	
Estudiar		x	x
Evaluar	x	x	
Examinar		x	x
Expedir		x	x
Facilitar		x	
Formular	x	x	
Fungir		x	
Gestionar		x	x
Implantar		x	x
Informar	x	x	x
Iniciar			x
Inspeccionar		x	x
Instalar		x	x
Instituir	x		
Instruir	x	x	x
Instrumentar		x	x
Integrar		x	
Interpretar		x	x
Intervenir			x
Inventariar			x
Investigar		x	x
Mantener			x
Mejorar			x
Motivar	x	x	
Negociar	x	x	
Normar	x	x	
Notificar			x
Obtener			x
Operar			x
Opinar		x	x
Organizar	x	x	
Orientar		x	
Participar	x	x	x

Planear	x	x	
Practicar			x
Preparar			x
Presentar		x	x
Presidir	x	x	
Presupuestar		x	x
Procesar			x
Procurar	x	x	
Producir			x
Programar		x	x
Promover		x	
Proponer		x	x
Proporcionar			x
Proveer			x
Proyectar		x	x
Realizar			x
Recabar			x
Recibir			x
Recolectar			x
Recomendar		x	x
Registrar			x
Regular	x	x	
Reportar			x
Representar		x	
Resguardar			x
Reunir			x
Revisar		x	x
Seguir			x
Seleccionar			x
Sistematizar			x
Solicitar			x
Someter		x	x
Supervisar		x	
Tramitar			x
Validar	x		
Verificar		x	x
Vigilar		x	x

ANEXO 5

Tabla A5-1. Cifras de graduandos de especializaciones en universidades del departamento del Magdalena

Tomado de: Observatorio Laboral de Educación - SNIES

		2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total	Decisión
Ambiental	ESPECIALIZACION EN ANALISIS Y GESTION AMBIENTAL	11	12	0	9	2	1	162	Suficiente
	ESPECIALIZACION EN CIENCIAS AMBIENTALES	0	1	3	4	0	1		
	ESPECIALIZACION EN GESTION AMBIENTAL	6	20	36	21	26	9		
Finanzas	ESPECIALIZACION EN FINANZAS	48	39	38	50	25	43	347	Suficiente
	ESPECIALIZACION EN GERENCIA FINANCIERA	17	13	17	10	28	19		
Gerencia	ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE EMPRESAS COMERCIALES	16	20	13	11	13	16	101	Suficiente
	ESPECIALIZACION EN GESTION PUBLICA	9	0	0	0	3	0		
Informática	ESPECIALIZACION EN DESARROLLO DE SOFTWARE	4	5	10	11	4	10	61	Escasa
	ESPECIALIZACION EN GERENCIA INFORMATICA	0	0	0	0	13	4		
Logística	ESPECIALIZACION EN LOGISTICA	18	30	13	43	29	24	157	Suficiente
Marketing	ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MERCADEO	14	16	8	20	30	35	199	Suficiente
	MAESTRIA EN DESARROLLO EMPRESARIAL	0	0	12	11	24	29		
Proyectos	ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE PROYECTOS DE INGENIERIAS	22	23	19	23	15	18	324	Suficiente
	ESPECIALIZACION EN FORMULACION Y EVALUACION DE PROY	6	12	18	9	21	14		
	ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE PROY DE INGENIERIA	4	7	12	57	31	13		
Recursos	ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE RECURSOS HUMANOS	16	20	12	18	12	18	128	Suficiente
	ESPECIALIZACION EN GERENCIA DEL TALENTO HUMANO	28	2	0	1	1	0		

ANEXO 6

Tabla A6-1. Salario: área de interés Administración 2016

Tomado de: Observatorio laboral del SNIES

Área de interés: ADMINISTRACIÓN		
Nivel académico: universitario	Salario 2016	Promedio
ADMINISTRACION	\$ 2.097.753	\$2.284.603
ADMINISTRACION DE EMPRESAS	\$ 2.409.249	
ADMINISTRACION DE EMPRESAS COMERCIALES	\$ 2.346.804	
Nivel académico: maestría	Salario 2016	Promedio
MAESTRIA EN ADMINISTRACION	\$ 7.037.607	\$6.461.346
MAESTRIA EN ADMINISTRACION DE EMPRESAS	\$ 6.221.218	
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA ADMINISTRACION	\$ 6.125.210	

Tabla A6-2. Salarios por área de interés Ingeniería civil y afines 2016

Tomado de: Observatorio laboral del SNIES

Área de interés: INGENIERÍA CIVIL Y AFINES		
Nivel académico: universitario	Salario 2016	Promedio
INGENIERIA CIVIL	\$ 2.187.100	\$2.376.870
INGENIERIA DE TRANSPORTE Y VIAS	\$ 2.566.638	
Nivel académico: maestría	Salario 2016	Promedio
MAESTRIA EN INGENIERIA - ESTRUCTURAS	\$ 5.043.707	\$5.264.933
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL	\$ 5.486.157	
MAESTRIA EN INFRAESTRUCTURA VIAL	\$ 4.144.044	\$4.757.299
MAESTRIA EN INGENIERIA VIAS TERRESTRES	\$ 4.641.695	
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL	\$ 5.486.157	

Tabla A6-3. Salarios por área de interés Ingeniería sistemas, telemática y afines 2016

Tomado de: Observatorio laboral del SNIES

Área de interés: INGENIERÍA SISTEMAS, TELEMÁTICA Y AFINES		
Nivel académico: universitario	Salario 2016	Promedio
INGENIERIA DE SISTEMAS	\$ 2.598.342	\$2.322.359
INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACION	\$ 2.046.374	
Nivel académico: maestría	Salario 2016	Promedio
MAESTRIA EN INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA	\$ 4.688.608	\$5.160.383
MAESTRIA EN INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACION	\$ 5.632.156	

Tabla A6-4. Salarios por área de interés Ingeniería electrónica, telecomunicaciones y afines 2016

Tomado de: Observatorio laboral del SNIES

Área de interés: INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y AFINES		
Nivel académico: universitario	Salario 2016	Promedio
INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES	\$ 2.865.257	\$2.666.307
INGENIERIA ELECTRONICA	\$ 3.116.053	
INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES	\$ 2.561.989	
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES	\$ 2.121.929	
Nivel académico: maestría	Salario 2016	Promedio
MAESTRIA EN INGENIERIA - TELECOMUNICACIONES	\$ 4.629.928	\$4.880.199
MAESTRIA EN TELEMATICA Y TELECOMUNICACIONES	\$ 5.130.469	

Tabla A6-5. Salarios por área de interés Ingeniería industrial y afines 2016

Tomado de: Observatorio laboral del SNIES

Área de interés: INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES		
Nivel académico: universitario	Salario 2016	Promedio
INGENIERIA INDUSTRIAL	\$ 2.928.852	\$ 2.928.852
INGENIERIA INDUSTRIAL	\$ 2.928.852	\$ 2.754.072
INGENIERIA LOGISTICA	\$ 2.579.293	
Nivel académico: maestría	Salario 2016	Promedio
MAESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL	\$ 5.799.380	\$ 5.799.380

Tabla A6-6. Salarios por área de interés Derecho y afines 2016

Tomado de: Observatorio laboral del SNIES

Área de interés: DERECHO Y AFINES		
Nivel académico: universitario	Salario 2016	Promedio
DERECHO	\$ 2.757.262	\$2.721.537
DERECHO Y CIENCIAS POLITICAS	\$ 2.685.811	
Nivel académico: maestría	Salario 2016	Promedio
MAESTRIA EN DERECHO COMERCIAL	\$ 4.992.205	\$4.992.205

ANEXO 7

Tabla A7-1. Presupuesto invertido – 35 corridas iniciales

Réplica	Presupuesto invertido
1	\$ 3.096.490.608
2	\$ 3.069.997.416
3	\$ 3.084.311.920
4	\$ 3.064.052.976
5	\$ 3.108.015.127
6	\$ 3.070.884.454
7	\$ 3.060.543.143
8	\$ 3.068.717.258
9	\$ 3.063.919.192
10	\$ 3.100.573.486
11	\$ 3.102.018.273
12	\$ 3.053.901.105
13	\$ 3.091.802.692
14	\$ 3.089.300.001
15	\$ 3.107.959.887
16	\$ 3.071.958.248
17	\$ 3.079.921.894
18	\$ 3.031.252.616
19	\$ 3.101.055.987
20	\$ 3.062.878.442
21	\$ 3.109.774.310
22	\$ 3.098.987.234
23	\$ 3.054.223.132
24	\$ 3.071.934.614
25	\$ 3.107.934.389
26	\$ 3.107.799.248
27	\$ 3.050.658.059
28	\$ 3.100.215.583
29	\$ 3.098.185.282
30	\$ 3.108.977.413
31	\$ 3.107.052.840
32	\$ 3.073.882.820
33	\$ 3.031.902.996
34	\$ 3.070.010.042
35	\$ 3.072.920.534

Tabla A7-2. Soluciones generadas – 100 corridas

Perfiles		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Corrida 1	Período 1	4	5	4	3	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	4	5	0	3	0	5	5	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	8	2	8	10	5	4	2	3	1	8	4	1	3
Corrida 2	Período 1	4	4	2	1	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	4	0	4	7	8	7	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	6	6	6	1	2	3	0	5	3	0	9	12
Corrida 3	Período 1	4	2	3	7	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	3	3	3	2	3	6	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	0	4	1	17	2	0	3	5	1	5	2	4
Corrida 4	Período 1	3	2	6	5	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	2	10	11	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	2	13	5	3	1	2	1	2	4	8
Corrida 5	Período 1	1	4	3	4	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	1	4	1	4	6	4	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	9	13	3	6	2	1	2	5	0	5	0	3
Corrida 6	Período 1	4	2	1	3	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	13	5	2	1	0	4	19	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	5	6	1	5	9	2	2	2	3	0	9	4
Corrida 7	Período 1	4	1	5	4	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	4	0	4	9	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	8	2	6	1	6	5	2	2	1	9	4	8
Corrida 8	Período 1	5	6	1	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	4	3	9	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	6	2	3	4	2	0	3	4	7	4	14	3
Corrida 9	Período 1	2	3	2	4	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	5	3	5	2	3	7	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	4	1	3	8	2	2	2	5	2	9	5	3
Corrida 10	Período 1	1	3	7	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	5	1	2	2	3	8	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	4	2	2	0	2	10	3	2	8	5	5	9
Corrida 11	Período 1	8	2	8	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	6	1	0	1	1	7	7	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	4	3	6	10	2	1	2	2	3	5	5	1
Corrida 12	Período 1	1	3	6	3	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	12	5	3	1	5	3	14	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	8	3	8	3	2	4	2	5	1	3	3	8
Corrida 13	Período 1	4	3	2	6	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	1	3	2	5	3	6	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	11	9	3	5	2	2	0	4	0	5	5
Corrida 14	Período 1	3	2	5	3	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	2	4	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	7	7	2	3	2	6	7	2	5	0	5	10
Corrida 15	Período 1	3	3	9	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	5	2	1	5	3	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	2	5	9	5	6	9	0	5	0	5	4
Corrida 16	Período 1	3	5	3	2	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	9	0	2	2	7	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	5	2	3	7	3	0	1	7	0	3	9
Corrida 17	Período 1	2	2	7	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	1	2	5	4	4	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	2	6	5	5	5	5	3	4	8	10	0
Corrida 18	Período 1	5	6	1	2	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	2	2	0	6	5	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	1	4	3	10	4	3	2	4	1	5	3
Corrida 19	Período 1	5	5	4	3	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	6	1	3	1	1	4	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	8	5	3	4	6	1	3	0	3	5	11
Corrida 20	Período 1	2	4	3	8	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	3	2	5	1	4	5	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	3	6	4	4	4	3	3	4	1	5	2
Corrida 21	Período 1	4	3	0	5	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	4	3	3	6	0	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	5	3	2	6	3	5	0	8	6	4	3
Corrida 22	Período 1	0	6	0	8	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	2	8	1	3	2	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	3	4	1	4	6	8	5	5	3	5	4
Corrida 23	Período 1	1	4	4	7	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	9	7	13	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	5	5	4	6	7	5	6	5	8	0	5
Corrida 24	Período 1	3	5	2	2	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	4	3	2	1	8	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	2	4	2	12	5	2	2	6	3	5	5
Corrida 25	Período 1	2	5	3	6	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	3	8	3	4	0	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	4	3	5	3	2	8	1	2	2	3	3

Corrida 26	Período 1	1	1	3	2	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	0	1	6	4	0	7	5	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	12	6	5	2	2	1	3	7	1	3	2
Corrida 27	Período 1	2	2	6	4	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	5	2	2	2	1	9	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	10	3	6	0	1	4	5	8	2	2	4	4
Corrida 28	Período 1	1	6	0	5	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	4	1	2	5	5	3	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	12	6	6	0	4	5	10	3	4	2	5	4
Corrida 29	Período 1	1	7	6	1	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	7	2	0	2	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	16	5	2	1	5	3	3	8	2	3	5	3
Corrida 30	Período 1	1	1	7	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	1	3	5	4	4	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	13	1	2	4	5	5	3	3	5	2	4
Corrida 31	Período 1	3	3	2	2	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	1	4	8	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	4	3	4	0	6	10	0	4	11	5	5
Corrida 32	Período 1	1	8	0	8	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	3	3	1	5	9	10	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	7	3	3	7	4	4	1	5	3	5	1
Corrida 33	Período 1	2	7	1	3	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	0	10	0	5	5	4	14	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	2	7	5	1	5	4	3	5	2	1	8
Corrida 34	Período 1	1	6	1	2	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	4	2	5	9	2	13	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	6	4	5	2	7	5	1	4	1	5	9
Corrida 35	Período 1	8	3	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	8	2	4	3	10	13	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	0	4	2	7	3	3	2	3	0	10	5
Corrida 36	Período 1	6	3	0	1	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	5	4	1	0	0	5	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	6	1	9	2	15	2	2	4	2	4	3
Corrida 37	Período 1	4	0	8	2	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	5	3	1	3	9	10	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	13	5	2	5	2	9	2	5	1	3	0
Corrida 38	Período 1	2	0	2	7	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	4	3	0	3	3	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	6	0	5	7	2	5	1	5	5	3	7

Corrida 39	Período 1	2	5	4	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	0	7	1	5	4	6	12	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	3	2	4	4	3	7	0	5	4	5	1
Corrida 40	Período 1	3	1	5	8	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	5	4	1	6	1	1	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	8	5	0	4	14	0	7	2	1	2	3	1
Corrida 41	Período 1	1	1	6	8	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	4	3	1	9	5	13	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	1	15	0	3	5	11	1	3	2	4	0
Corrida 42	Período 1	4	2	2	6	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	3	5	4	2	1	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	7	7	1	0	4	13	1	0	3	5	4
Corrida 43	Período 1	2	7	5	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	7	1	0	1	7	14	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	7	0	5	0	8	3	8	2	6	5	3
Corrida 44	Período 1	3	4	3	3	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	2	3	2	10	10	14	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	6	4	8	5	3	1	8	2	8	4	3
Corrida 45	Período 1	3	7	4	1	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	4	2	5	7	3	10	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	5	6	1	2	4	2	3	2	3	4	2
Corrida 46	Período 1	2	1	1	6	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	3	7	6	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	2	5	4	7	0	3	1	3	3	9	3
Corrida 47	Período 1	1	3	3	2	4	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	2	3	2	7	2	3	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	9	3	4	8	3	2	11	2	0	1	4	3
Corrida 48	Período 1	3	3	4	6	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	7	1	5	5	3	12	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	2	7	4	4	1	6	4	0	3	2	5
Corrida 49	Período 1	2	2	7	3	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	8	3	2	2	0	0	8	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	5	3	1	10	1	6	1	7	2	5	5
Corrida 50	Período 1	1	9	2	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	9	1	2	2	7	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	3	7	2	1	8	5	0	5	3	1	5
Corrida 51	Período 1	4	4	1	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	5	1	3	4	2	3	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	5	2	2	6	1	11	2	3	3	3	8

Corrida 52	Período 1	0	9	1	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	10	1	5	2	5	13	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	4	5	1	7	3	4	3	0	11	1	4
Corrida 53	Período 1	4	4	1	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	3	0	4	9	8	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	4	3	5	5	1	2	3	3	0	15	2
Corrida 54	Período 1	8	3	1	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	4	0	8	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	7	10	3	6	10	5	2	3	1	4	2
Corrida 55	Período 1	0	0	6	4	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	5	9	9	10	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	4	3	4	5	4	7	1	2	7	2	12
Corrida 56	Período 1	2	4	4	3	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	4	0	2	1	6	3	6	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	3	6	0	9	2	1	2	8	7	4	2
Corrida 57	Período 1	7	1	5	1	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	2	0	2	4	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	1	4	4	3	4	7	2	6	7	5	14
Corrida 58	Período 1	2	3	0	7	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	3	3	1	9	5	9	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	5	0	3	6	3	0	3	5	0	5	6
Corrida 59	Período 1	3	3	0	7	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	4	3	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	11	3	3	5	6	2	16	3	4	3	4	1
Corrida 60	Período 1	1	4	0	4	4	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	9	9	1	3	5	2	3	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	5	2	2	5	8	7	5	5	2	0	8
Corrida 61	Período 1	2	2	6	3	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	1	6	2	3	0	9	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	7	0	0	5	5	5	3	4	3	8	1
Corrida 62	Período 1	5	2	7	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	3	1	9	6	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	4	5	4	0	2	1	8	13	2	2	8
Corrida 63	Período 1	0	5	3	3	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	3	3	2	0	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	11	5	4	7	5	0	1	1	2	3	5
Corrida 64	Período 1	5	1	3	2	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	4	4	2	3	3	5	0	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	4	4	2	4	3	6	1	3	10	4	9

Corrida 65	Período 1	2	2	6	2	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	5	1	0	4	4	6	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5	6	3	1	2	3	5
Corrida 66	Período 1	0	2	9	7	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	2	0	4	3	5	5	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	10	2	3	4	7	4	6	3	2	2	6	3
Corrida 67	Período 1	3	4	2	5	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	5	0	5	2	9	12	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	5	0	2	8	6	1	0	10	2	5	5
Corrida 68	Período 1	3	4	4	3	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	9	1	3	5	4	9	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	6	1	2	5	2	2	0	6	5	5	9
Corrida 69	Período 1	7	4	1	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	6	3	4	5	10	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	9	4	2	5	0	0	1	1	0	5	11
Corrida 70	Período 1	1	1	3	11	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	2	3	2	0	8	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	3	4	1	7	6	6	3	5	1	1	5
Corrida 71	Período 1	3	1	2	8	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	5	2	4	3	4	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	9	0	6	5	3	2	2	5	2	2	6
Corrida 72	Período 1	1	8	3	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	4	5	3	2	0	4	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	4	5	1	5	5	1	2	1	1	5	15
Corrida 73	Período 1	3	3	2	6	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	4	0	5	5	6	12	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	2	7	5	5	4	2	6	5	3	1	6
Corrida 74	Período 1	2	3	4	4	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	4	5	2	1	5	0	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	3	5	1	4	10	8	2	0	5	3	7
Corrida 75	Período 1	3	3	5	6	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	5	5	4	0	3	2	2	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	5	0	4	7	10	6	3	3	0	3	7
Corrida 76	Período 1	6	7	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	3	3	13	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	6	2	3	6	7	4	1	4	3	4	3
Corrida 77	Período 1	3	3	3	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	0	10	1	1	5	7	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	8	2	2	3	4	0	2	8	0	6	4	5

Corrida 78	Período 1	3	2	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	2	0	5	5	10	9	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	7	5	3	1	4	4	0	1	5	12	4	5
Corrida 79	Período 1	4	3	2	2	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	2	3	3	5	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	5	5	1	5	5	2	3	3	0	14	1
Corrida 80	Período 1	6	5	1	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	6	5	3	2	15	4	2	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	5	11	0	17	5	2	2	5
Corrida 81	Período 1	2	7	0	4	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	5	3	9	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	5	1	3	5	9	2	2	4	8	5	2
Corrida 82	Período 1	2	0	3	5	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	8	3	2	5	9	12	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	5	2	1	1	3	2	3	2	2	14	5
Corrida 83	Período 1	1	2	5	1	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	8	1	3	2	1	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	1	7	1	8	3	6	1	5	6	3	5
Corrida 84	Período 1	1	5	3	5	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	10	2	0	1	10	14	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	3	5	5	5	4	5	6	13	3	5	3
Corrida 85	Período 1	3	2	5	4	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	3	2	1	2	4	7	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	6	6	3	1	1	7	0	10	8	5	0
Corrida 86	Período 1	0	3	2	8	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	6	4	1	2	4	2	2	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	7	5	5	2	3	2	4	8	4	3	3	4
Corrida 87	Período 1	6	4	1	2	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	2	5	2	8	14	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	5	3	3	3	1	3	3	3	5	2	9
Corrida 88	Período 1	1	4	6	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	4	7	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	5	6	3	3	2	3	3	5	8	1	3
Corrida 89	Período 1	1	5	8	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	5	4	2	3	2	2	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	5	1	1	7	3	7	3	1	12	4	1
Corrida 90	Período 1	0	4	1	6	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	3	7	0	2	4	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	0	2	6	4	3	6	13	3	5	7	5	5

Corrida 91	Período 1	2	1	3	7	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	13	5	1	4	1	5	6	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	3	3	2	9	4	11	3	0	3	5	1
Corrida 92	Período 1	3	5	5	1	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	4	3	6	4	0	2	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	11	3	3	11	0	2	0	2	3	3	2
Corrida 93	Período 1	0	3	4	5	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	6	0	2	7	4	0	3	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	5	5	6	0	6	2	6	8	5	8	3	4
Corrida 94	Período 1	5	2	4	1	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	5	1	2	3	3	5	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	6	5	6	2	9	0	12	2	5	2	1	1
Corrida 95	Período 1	0	1	5	6	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	9	3	4	3	4	6	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	6	2	3	6	1	3	2	4	0	14	0
Corrida 96	Período 1	5	1	1	1	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	4	0	2	3	5	4	4	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	2	5	6	4	5	11	3	3	3	5	4
Corrida 97	Período 1	4	3	7	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	3	4	0	4	6	10	11	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	3	2	12	1	13	2	0	1	5	2	5	4
Corrida 98	Período 1	5	0	5	2	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	10	3	4	1	5	10	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	2	0	2	5	9	5	3	3	3	7	5	10
Corrida 99	Período 1	2	6	4	5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	1	10	2	10	3	4	13	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	1	3	6	0	5	3	4	3	0	1	3	6
Corrida 100	Período 1	0	2	2	3	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Período 2	0	0	0	0	0	0	2	3	2	1	4	1	9	0	0	0	0	0
	Período 3	0	0	0	0	0	0	4	3	4	3	1	3	5	6	5	1	4	3